
Eindrapport

Inhuur van diensten i.v.m. domein externe veiligheid waterstoftankstations

Bestek nr. OV-1703-Waterstoftankstations

Februari 2020



3500 Hasselt Maastrichtersteenweg 210
9032 Gent Industrieweg 118/4
1000 Brussel Clovislaan 82
5004 Bouge Route de Hannut 55

T. 011/22 32 40
T. 09/216 80 00
T. 02/734 02 65
T. 081/22 60 82

F. 011/23 46 70
F. 09/375 36 17
F. 02/734 61 80
F. 081/22 99 22

Leeg blad

INHOUDSTAFEL

Inhoudstafel	ii
Tabellen- en figurenlijst	iv
Terminologie en afkortingen	x
I. Inleiding	I.1
I.1. Doel van de studie	I.1
I.1.1. Bepalen van externe veiligheidsafstanden.....	I.1
I.1.2. Bepalen van interne veiligheidsafstanden.....	I.1
I.1.3. Ontwikkelen van een evaluatiemethode voor het groepsrisico	I.2
I.2. Onderzoeksactiviteiten.....	I.2
II. Identificeren van standaard waterstoftankstations op basis van de huidige stand der techniek ..II.1	II.1
II.1. Uitvoeringstypen van waterstoftankstations.....	II.1
II.2. Representatieve standaard componenten	II.6
II.2.1. Transportleidingen	II.6
II.2.2. Lokale productie-eenheden.....	II.7
II.2.3. Tube-trailer en batterijvoertuigen en bijhorende losinstallaties	II.12
II.2.4. Lagedruk opslagbuffer	II.15
II.2.5. Compressoren.....	II.17
II.2.6. Middendruk en hogedruk buffer	II.19
II.2.7. Verbindingsleidingen.....	II.20
II.2.8. Koelunit voor het afleveren van waterstof op 700 bar.....	II.21
II.2.9. Verdeelzuilen op 350 en 700 bar	II.22
III. Kwantitatieve risicoanalyse	III.1
III.1. Methodiek	III.1
III.1.1. Achtergrond.....	III.1
III.1.2. Deelstappen	III.1
III.1.3. Evaluatiebasis	III.2
III.2. Uitwerking van de kwantitatieve risicoanalyse	III.5
III.2.1. Representatieve ongevalsscenario's	III.5
III.2.2. Modellering van de gevolgen van ongevalsscenario's.....	III.19
III.3. Resultaten van de kwantitatieve risicoanalyse	III.22
III.3.1. Plaatsgebonden mensrisico	III.22
IV. Bepalen van externe scheidingsafstanden	IV.1
IV.1. Risicoafstanden voor afzonderlijke componenten	IV.1
IV.1.1. Waterstoftransportleidingen	IV.1
IV.1.2. Lokale productie-eenheden.....	IV.2
IV.1.3. Tube-trailers en batterijvoertuigen en bijhorende losinstallaties	IV.2
IV.1.4. Lagedruk opslag.....	IV.5
IV.1.5. Middendruk en hogedruk buffer	IV.7
IV.1.6. Compressoren.....	IV.7
IV.1.7. Verdeelzuilen met vulslangen	IV.8
IV.1.8. Verbindingsleidingen.....	IV.9
IV.1.9. Koelunit	IV.9
IV.2. Risicoafstanden voor de volledige verdeelinstallatie	IV.10
IV.2.1. Tankstation variant 1	IV.10

IV.2.2.	Tankstation variant 2	IV.12
IV.2.3.	Tankstation variant 3	IV.13
IV.2.4.	Tankstation variant 4	IV.15
IV.2.5.	Tankstation variant 5	IV.17
IV.3.	Richtlijnen voor het gebruik van de risicoafstanden	IV.18
V.	Bepalen van interne scheidingsafstanden	V.1
V.1.	Methodiek	V.1
V.1.1.	Algemeen	V.1
V.1.2.	Selectie van representatieve scenario's	V.2
V.1.3.	Criteria voor relevante schade aan personen en installaties	V.4
V.2.	Bepalen van de interne scheidingsafstanden	V.7
V.2.1.	Vrijzettingsscenario's op basis van Vlaamse QRA	V.7
V.2.2.	Vrijzettingsscenario's conform NFPA 55 (editie 2016)	V.10
V.3.	Evaluatie van de interne scheidingsafstanden	V.11
V.3.1.	Toepasbaarheid van de verschillende selectiemethoden	V.11
V.3.2.	Toetsen van scheidingsafstanden aan normen en codes	V.12
VI.	Analyse van het groepsrisico	VI.1
VI.1.	Groepsrisico van verschillende uitvoeringsvarianten	VI.1
VI.2.	Impact van de populatiedichtheid op het groepsrisico	VI.2
VI.3.	Impact van de aanvoer via batterijvoertuigen op 500 bar	VI.4
VI.4.	Voorstel evaluatiemethode groepsrisico	VI.5
VII.	Referenties	VII.1
VIII.	Bijlagen	VIII.1
VIII.1.	Bijlage 1: Gevaarseigenschappen en fysische kenmerken van waterstof	VIII.2
VIII.2.	Bijlage 2: Meteorologische gegevens die werden aangewend in de QRA	VIII.4
VIII.2.1.	Algemene meteorologische parameters	VIII.4
VIII.2.2.	Locatie-specifieke meteorologische parameters	VIII.4
VIII.3.	Bijlage 3: Scenariotabel met maximale effectafstanden en ongevalfrequenties	VIII.10
VIII.4.	Bijlage 4: Overzicht van bepalingen uit normen en wetgeving inzake veiligheidsafstanden ..	VIII.11
VIII.4.1.	Beschikbare normen en codes van goede praktijk	VIII.11
VIII.4.2.	Bespreking van normen en codes voor waterstoftankstations	VIII.11

TABELLEN- EN FIGURENLIJST

De tabellen en figuren aangeduid met ‘▼’ bevinden zich achteraan het rapport na de referenties.

Tabellen

Tabel II.2.1.1:	Standaard componenten voor een aanvoer via een waterstoftransportleiding	II.7
Tabel II.2.2.1:	Gecontaineriseerde elektrolyse-modules van Hydrogenics	II.8
Tabel II.2.2.2:	Gecontaineriseerde stoomreformer-modules van Hygear.....	II.10
Tabel II.2.2.3:	Standaard elektrolyse-eenheden	II.12
Tabel II.2.2.4:	Standaard reformer-eenheden	II.12
Tabel II.2.3.1:	Standaard tube-trailers	II.14
Tabel II.2.3.2:	Standaard batterijvoertuigen	II.14
Tabel II.2.3.3:	Standaard los- of koppelslangen	II.15
Tabel II.2.4.1:	Standaard componenten in een lagedruk opslag	II.17
Tabel II.2.5.1:	Standaard compressoren	II.19
Tabel II.2.6.1:	Standaard componenten in een middendruk buffer (max. 500 bar).....	II.20
Tabel II.2.6.2:	Standaard componenten in een hogedruk buffer (max. 1.000 bar).....	II.20
Tabel II.2.7.1:	Standaard componenten voor de verbindingsleidingen	II.21
Tabel II.2.9.1:	Standaard vul- en koppelslangen	II.22
Tabel III.1.1	Gehanteerde risicocriteria voor het plaatsgebonden mensrisico van Seveso- inrichtingen in Vlaanderen	III.3
Tabel III.2.1.1:	Generieke faalfrequenties voor ondergrondse en bovengrondse secties van een waterstoftransportleiding	III.6
Tabel III.2.1.2:	Generieke faalfrequenties voor opslagdruktanks, gasflessen en cilinders.....	III.8
Tabel III.2.1.3:	Generieke faalfrequenties voor flexibele los- en verdeelslangen	III.9
Tabel III.2.1.4:	Generieke faalfrequenties voor koppelslangen	III.10
Tabel III.2.1.5:	Generieke faalfrequenties voor ondergrondse en bovengrondse secties van een waterstoftransportleiding	III.12
Tabel III.2.1.6:	Generieke faalfrequenties voor compressoren	III.13
Tabel III.2.1.7:	Generieke faalfrequenties voor lokale productie-eenheden	III.15
Tabel III.2.1.8:	Legende generieke gebeurtenissenboom (mogelijke ongevalsscenario's).....	III.18
Tabel III.2.1.9:	Vervolgkansen voor ontvlambare gassen met een hoge reactiviteit	III.18
Tabel III.2.2.1:	Effecten en letale respons per ongevalscenario	III.21
Tabel III.2.2.2:	Criteria ter bepaling van de max. effectafstand	III.21
Tabel III.3.1.1:	Individuele risicoafstanden voor de tube-trailer losplaats en de verdeelzuil en gecumuleerde risicoafstanden voor de overige componenten	III.26

Tabel IV.1.1.1:	Maximale risicoafstanden voor het ondergronds deel van een waterstoftransportleiding op het tankstation	IV.1
Tabel IV.1.1.2:	Maximale risicoafstanden voor het bovengronds deel van een waterstoftransportleiding op het tankstation	IV.1
Tabel IV.1.1.3:	Maximale risicoafstanden voor het volledige gedeelte van een waterstoftransportleiding dat gelegen is op het tankstation.....	IV.2
Tabel IV.1.2.1:	Maximale risicoafstanden voor elektrolyse-modules	IV.2
Tabel IV.1.2.2:	Maximale risicoafstanden voor stoomreformer-modules.....	IV.2
Tabel IV.1.3.1:	Maximale risicoafstanden voor het verblijf van standaard tube-trailers op een waterstoftankstation (verbonden met een overdrukbeveiliging)	IV.3
Tabel IV.1.3.2:	Maximale risicoafstanden voor het verblijf van standaard batterjivoertuigen op een waterstoftankstation (verbonden met een overdrukbeveiliging)	IV.3
Tabel IV.1.3.3:	Maximale risicoafstanden voor het gebruik van standaard losslangen, voorzien van een terugslagklep en een doorstroombegrenzer.....	IV.3
Tabel IV.1.3.4:	Maximale risicoafstanden voor het gebruik van LPG-losslangen, voorzien van een terugslagklep en een doorstroombegrenzer.....	IV.4
Tabel IV.1.3.5:	Maximale risicoafstanden voor het gebruik van standaard koppelslangen, voorzien van een terugslagklep en een doorstroombegrenzer.....	IV.4
Tabel IV.1.3.6:	Maximale risicoafstanden voor het gebruik van LPG-koppelslangen, voorzien van een terugslagklep en een doorstroombegrenzer.....	IV.4
Tabel IV.1.3.7:	Maximale risicoafstanden voor het lossen van transportvoertuigen op het station, uitgaande van standaard losslangen met terugslagklep en doorstroombegrenzer	IV.5
Tabel IV.1.3.8:	Maximale risicoafstanden voor het lossen van transportvoertuigen op het station, uitgaande van LPG-losslangen met terugslagklep en doorstroombegrenzer	IV.5
Tabel IV.1.3.9:	Maximale risicoafstanden voor het aankoppelen van transportvoertuigen op het station via standaard koppelslangen met terugslagklep en doorstroombegrenzer.....	IV.5
Tabel IV.1.3.10:	Maximale risicoafstanden voor het aankoppelen van transportvoertuigen op het station via LPG-koppelslangen met terugslagklep en doorstroombegrenzer.....	IV.5
Tabel IV.1.4.1:	Maximale risicoafstanden voor vaste druktanks (max. 50 bar)	IV.6
Tabel IV.1.4.2:	Maximale risicoafstanden voor gasflesbatterijen (max. 200 bar)	IV.6
Tabel IV.1.4.3:	Maximale risicoafstanden voor cilinderbatterijen (max. 200 bar)	IV.6
Tabel IV.1.5.1:	Maximale risicoafstanden voor een middendruk buffer (max. 500 bar) die bestaat uit enkele gasflesbatterijen of cilinders	IV.7
Tabel IV.1.5.2:	Maximale risicoafstanden voor een hogedruk buffer (max. 1.000 bar) die bestaat uit enkele gasflessen of cilinders	IV.7
Tabel IV.1.6.1:	Maximale risicoafstanden voor een compressor in een goed geventileerde besloten ruimte (container) met een automatisch noodstopsysteem.....	IV.7
Tabel IV.1.7.1:	Maximale risicoafstanden voor standaard vulslangen (350 bar), voorzien van een doorstroombegrenzer in de verdeelzuil	IV.8
Tabel IV.1.7.2:	Maximale risicoafstanden voor LPG-vulslangen (350 bar), voorzien van een doorstroombegrenzer in de verdeelzuil	IV.8

Tabel IV.1.7.3:	Maximale risicoafstanden voor standaard vulslangen (700 bar), voorzien van een doorstroombegrenzer in de verdeelzuil	IV.8
Tabel IV.1.7.4:	Maximale risicoafstanden voor LPG-vulslangen (700 bar), voorzien van een doorstroombegrenzer in de verdeelzuil	IV.8
Tabel IV.1.8.1:	Maximale risicoafstanden voor de bovengrondse verbindingleidingen op het tankstation op een druk van max. 30 bar	IV.9
Tabel IV.1.8.2:	Maximale risicoafstanden voor de bovengrondse verbindingleidingen op het tankstation op een druk van max. 200 bar	IV.9
Tabel IV.1.8.3:	Maximale risicoafstanden voor de bovengrondse verbindingleidingen op het tankstation op een druk van max. 500 bar	IV.9
Tabel IV.1.8.4:	Maximale risicoafstanden voor de bovengrondse verbindingleidingen op het tankstation op een druk van max. 1.000 bar	IV.9
Tabel IV.1.9.1:	Maximale risicoafstanden voor het gebruik van de gaskoeler bij aflevering op een druk van 700 bar	IV.10
Tabel IV.2.1.1:	Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 1 (standaard slangen).....	IV.11
Tabel IV.2.1.2:	Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 1 (LPG-slangen)	IV.11
Tabel IV.2.2.1:	Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 2 (standaard slangen).....	IV.12
Tabel IV.2.2.2:	Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 2 (LPG-slangen)	IV.13
Tabel IV.2.3.1:	Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 3 (standaard slangen).....	IV.14
Tabel IV.2.3.2:	Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 3 (LPG-slangen)	IV.14
Tabel IV.2.4.1:	Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 4 (standaard slangen).....	IV.16
Tabel IV.2.4.2:	Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 4 (LPG-slangen)	IV.16
Tabel IV.2.5.1:	Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 5 (standaard slangen).....	IV.17
Tabel IV.2.4.2:	Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 5 (LPG-slangen)	IV.18
Tabel V.1.2.1:	Representatieve componenten en faalwijzen voor het afbakenen van interne scheidingsafstanden op een waterstoftankstation.....	V.2
Tabel V.1.3.1:	Drempelwaarden voor het optreden van effecten op personen	V.4
Tabel V.1.3.2:	Minimale tijd tot het optreden van bepaalde effecten in functie van de invallende stralingswarmteflux waaraan personen worden blootgesteld.....	V.6
Tabel V.2.1.1:	Minimale scheidingsafstanden tussen omvangrijke gasflesbatterijen in openlucht en naburige personen en installaties binnen de inrichting	V.7

Tabel V.2.1.2:	Minimale scheidingsafstanden tussen omvangrijke cilinderbatterijen in openlucht en naburige personen en installaties binnen de inrichting	V.8
Tabel V.2.1.3:	Minimale scheidingsafstanden tussen los- en koppelslangen en naburige personen en installaties binnen de inrichting (o.b.v. faalfrequenties van standaard slangen)	V.8
Tabel V.2.1.4:	Minimale scheidingsafstanden tussen los- en koppelslangen en naburige personen en installaties binnen de inrichting (o.b.v. faalfrequenties van LPG-slangen)	V.8
Tabel V.2.1.5:	Minimale scheidingsafstanden tussen verdeelslangen en naburige personen en installaties binnen de inrichting (o.b.v. faalfrequenties van standaard slangen)	V.9
Tabel V.2.1.6:	Minimale scheidingsafstanden tussen verdeelslangen en naburige personen en installaties binnen de inrichting (o.b.v. faalfrequenties van LPG-slangen)	V.9
Tabel V.2.1.7:	Minimale scheidingsafstanden tussen installaties in besloten ruimten en naburige personen en installaties binnen de inrichting	V.9
Tabel VI.1.1:	Uitvoeringsvarianten van een waterstoftankstation die worden onderworpen aan een grondige analyse van het groepsrisico	VI.1
Tabel VI.3.1:	Gewijzigde aannames voor de bevoorrading van de uitvoeringsvarianten 1, 4 en 5 van een waterstoftankstation	VI.4
Tabel VI.4.1	Max. aantal personen t.h.v. een waterstoftankstation (capaciteit \leq 200 kg/dag)	VI.6
Tabel VI.1.1:	Uitvoeringsvarianten van een waterstoftankstation die worden onderworpen aan een grondige analyse van het groepsrisico	VI.6
Tabel VIII.1.1	Gevaarseigenschappen en fysische kenmerken waterstof	VIII.2
Tabel VIII.2.1.1:	Waarden voor meteorologische parameters	VIII.4
Tabel VIII.2.2.1:	Jaargemiddelde frequenties van voorkomen van weertypes en windrichtingen voor gridpunt 39,18 (Antwerpen)	VIII.5
Tabel VIII.2.2.2:	Jaargemiddelde frequenties van voorkomen van weertypes en windrichtingen voor gridpunt 28,11 (Gent)	VIII.6
Tabel VIII.2.2.3:	Jaargemiddelde frequenties van voorkomen van weertypes en windrichtingen voor gridpunt 13,6 (Oostende)	VIII.7
Tabel VIII.2.2.4:	Jaargemiddelde frequenties van voorkomen van weertypes en windrichtingen voor gridpunt 39,4 (Brussel)	VIII.8
Tabel VIII.2.2.5: J	Jaargemiddelde frequenties van voorkomen van weertypes en windrichtingen voor gridpunt 54,5 (Sint-Truiden)	VIII.9

Figuren

Figuur II.1.1:	Schematische weergave van een waterstoftankstation met een cascadevulling	II.3
Figuur II.1.2:	Schematische weergave van een waterstoftankstation met een cascadevulling met ondersteuning door een booster	II.3
Figuur II.1.3:	Schematische weergave van een waterstoftankstation met een boostervulling	II.3
Figuur II.1.4:	Schematische weergave van een waterstoftankstation met een cascade-vulling op 350 bar en cascade-vulling met booster-ondersteuning op 700 bar	II.4
Figuur II.2.1.1:	Waterstoftransportleidingen van Air Liquide in de Benelux	II.7
Figuur II.2.2.1:	Stroomschema van het elektrolyse-proces	II.9

Figuur II.2.2.2:	Schematische voorstelling van een gecontaineriseerde HySTAT 60 en HyLYZER 400 elektrolyse-module	II.9
Figuur II.2.2.3:	Principeschema van de actieve ventilatie in een HySTAT elektrolyse-module	II.9
Figuur II.2.2.4:	Stroomschema van het stoomreforming-proces	II.10
Figuur II.2.2.5:	Schematische voorstelling van een container met een kleinschalige stoomreformer (HY.GEN®).....	II.11
Figuur II.2.3.1:	Voorbeeld van een tube-trailer met 9 stalen drukcilinders (max. 200 bar)	II.12
Figuur II.2.4.1:	Voorbeeld van een opslag in de vorm van een bovengrondse druktank op een tankstation in Stuttgart (OMV) en in Gieselwind (TOTAL).....	II.16
Figuur II.2.4.2:	Voorbeeld van een opslag in de vorm van een ondergrondse druktank van 87 m ³ op een tankstation in Hunzenschwil (COOP)	II.16
Figuur II.2.4.3:	Voorbeeld van een opslag in de vorm van verschillende kaders met gasflessen	II.16
Figuur II.2.4.3:	Voorbeeld van een opslag in de vorm van enkele drukcilinders met een volume van meer dan 1.000 liter	II.17
Figuur II.2.6.1:	Voorbeeld van de middendruk bufferopslag op het tankstation van te Rhoon.....	II.19
Figuur III.1.1:	Schematische weergave van de verschillende stappen die doorlopen worden in een kwantitatieve risicoanalyse	III.2
Figuur III.1.2:	Risicocriteria voor het groepsrisico van Seveso-inrichtingen in Vlaanderen	III.3
Figuur III.2.1.1:	Vrijzettingsdebiet in geval van een lek aan een drukhouder met waterstof.....	III.8
Figuur III.2.1.2:	Impact van de reactietijd van een terugslagklep op het berekende risico van een standaard losslang ($\varnothing = 10$ mm) die gedurende 700 uren wordt gebruikt	III.11
Figuur III.2.1.3:	Generieke gebeurtenissenboom	III.18
Figuur III.3.1.1:	IRC's van het plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van een middendruk buffer met 8 cilinders van 500 liter (max. 500 bar)	III.23
Figuur III.3.1.2:	Plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van een middendruk buffer met 8 cilinders van 500 liter, i.f.v. de afstand tot de buffer in oostelijke richting	III.23
Figuur III.3.1.3:	IRC's (volle lijn) van het plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van een middendruk buffer (8x 500 liter) met aanduiding van max. risicoafstanden (puntstreeplijn)	III.24
Figuur III.3.1.4:	IRC's van het plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van het hoger beschreven waterstoftankstation met een doorzet van 200 kg per dag.....	III.25
Figuur III.3.1.5:	IRC's (volle lijn) van het plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van het hoger beschreven waterstoftankstation met aanduiding van de max. risicoafstanden (puntstreeplijn).....	III.25
Figuur III.3.1.6:	IRC's (volle lijn) van het bestudeerde waterstoftankstation met aanduiding van de gecumuleerde risicoafstanden (links) en de individuele risicoafstanden (rechts)	III.26
Figuur IV.3.1:	Spelregels m.b.t. het gebruik van risicoafstanden op een waterstoftankstation waarbij de functionele delen op meer dan 15 m van elkaar gelegen zijn	IV.19
Figuur IV.3.2:	Spelregels m.b.t. het gebruik van risicoafstanden op een waterstoftankstation waarbij bepaalde functionele delen op minder dan 15 m van elkaar gelegen zijn.....	IV.19
Figuur V.1.3.1:	Tijd tot het optreden van verschillende niveaus van ongemak en letsels bij blootstelling aan stralingswarmte	V.5

Figuur V.1.3.2:	Pijngrens bij blootstelling van personen aan stralingswarmte.....	V.5
Figuur V.2.2.1:	Berekende interne scheidingsafstanden tot personen in functie van de werkingsdruk en de interne leidingdiameter in de installatie	V.10
Figuur V.2.2.2:	Berekende interne scheidingsafstanden tot installaties met gevaarlijke stoffen in functie van de werkingsdruk en de interne leidingdiameter in de installatie.....	V.11
Figuur VI.1.1	Groeprisico van verschillende uitvoeringsvarianten van een waterstof- tankstation in een omgeving met een populatiedichtheid van 40 pers/ha	VI.2
Figuur VI.2.1	Groeprisico van verschillende uitvoeringsvarianten van een waterstof- tankstation in een omgeving met een populatiedichtheid van 200 pers/ha	VI.3
Figuur VI.1.3	Groeprisico van uitvoeringsvarianten van een waterstof-tankstation die bevoorraad worden door batterijvoertuigen op 500 bar (populatiedichtheid: 200 pers/ha)	VI.5

TERMINOLOGIE EN AFKORTINGEN

ADR	ADR is de afkorting van de Franse titel van het Europees verdrag betreffende het internationaal vervoer van gevaarlijke goederen over de weg: "Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route".
Cilinder	Verplaatsbare naadloze drukhouder met een watercapaciteit van meer dan 150 liter en niet meer dan 3.000 liter.
CLP-verordening	Verordening nr. 1272/2008 van het Europees Parlement en de Raad van 16 december 2008 betreffende de indeling, etikettering en verpakking van stoffen en mengsels tot wijziging van de Richtlijnen 67/548/EEG en 1999/45/EG en tot wijziging van Verordening nr. 1907/2006
CNG	Compressed Natural Gas
Dodemansknop	Een dodemansknop is een voorziening die in het algemeen wordt toegepast bij machines en toestellen waar de aanwezigheid en aandacht van de bediener essentieel is voor de veiligheid. Het uitvoeren van een bepaalde actie kan enkel gebeuren wanneer de dodemansknop is ingedrukt.
Drukhouder	Geheel van installaties waaronder druktanks, tankwagens, spoorwagens, tankcontainers, flessen, drukvaten, cilinders als procesinstallaties, voor zover de ontwerpdruk minstens 0,5 bar overdruk bedraagt.
Druktank	Vast opgestelde drukhouder die bovengronds of ondergronds kan geplaatst worden.
Drukvat	Verplaatsbare gelaste drukhouder met een watercapaciteit van meer dan 150 liter en niet meer dan 1.000 liter.
ESD	Emergency Shut-Down of noodstopstelsysteem stuurt de op afstand bediende afsluiters dicht (isoleert de verschillende installatieonderdelen). Het noodstopstelsysteem kan manueel worden geactiveerd (door het indrukken van een noodstopknop) of automatisch door detectie van een gas- of vloeistoflek.
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle. Een brandstofcelvoertuig is een elektrisch voertuig waarbij de benodigde elektriciteit wordt opgewekt door een brandstofcel gevoed door waterstof.
Fles | gasfles	Verplaatsbare drukhouder met een watercapaciteit van niet meer dan 150 liter met uitzondering van spuitbussen.
Flessenbatterij	Geheel van flessen die aan elkaar zijn vastgehecht en onderling door een verzamelleiding verbonden, dat als een onverbreekbaar geheel vervoerd wordt.
Gebied met woonfunctie	<ol style="list-style-type: none"> 1. Woongebied, bepaald volgens artikel 5 en 6 van het koninklijk besluit van 28 december 1972 betreffende de inrichting en de toepassing van de ontwerp-gewestplannen en de gewestplannen en de ermee vergelijkbare gebieden vastgesteld in de ruimtelijk uitvoeringsplannen met toepassing van het decreet van 18 mei 1999 houdende organisatie van de ruimtelijke ordening; 2. Groepen van minstens vijf bestaande, niet onteigende of in onteigeningsplannen opgenomen wooneenheden, die een ruimtelijk aaneengesloten geheel vormen, in andere gebieden dan vermeld in 1 [art. 2, Besluit ruimtelijke veiligheidsrapportage, 23-02-2013].
Groepsrisico	Het groepsrisico is de kans (per jaar) dat een aantal personen in de omgeving van de bestudeerde installatie of activiteit gelijktijdig omkomt ten gevolge van een zwaar ongeval met die installatie of activiteit.
IRC	Isoriscocontouren
ISO	International Organization for Standardization
Kwetsbare locatie	Alle terreinen waarop zich scholen, ziekenhuizen of rust- en verzorgingstehuizen bevinden. Met scholen worden alle kleuter-, lager of secundair onderwijsinstellingen bedoeld. Universiteiten en hogescholen worden niet weerhouden aangezien deze personen voldoende zelfredzaam zijn [art. 2, Besluit ruimtelijke veiligheidsrapportage, 23-02-2013].
LEL	Lower Explosion Limit (onderste explosiegrens)
LPG	Liquefied Petroleum Gas of vloeibaar petroleumgas
Maximale effectafstand	De maximale effectafstand komt overeen met de afstand waarop het desbetreffende ongevalscenario resulteert in 1% letaliteit van blootgestelde personen (buiten of binnen) bij het meest ongunstige weertype
NBN	Norme Belge/Belgische Norm
Noodbreekkoppeling	Een koppeling van twee leiding- of slangeinden die wordt verbroken zodra een bepaalde trekbelasting in de lengterichting van de slang of leiding wordt overschreden. De breekkoppeling omvat tevens een voorziening die de beide vrijkomende einden afsluit, zodat slechts een geringe hoeveelheid product kan vrijkomen.
OVR	Omgevingsveiligheidsrapport
PGS	Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen. Deze Nederlandse publicatiereeks is een handreiking voor bedrijven die gevaarlijke stoffen produceren, transporteren, opslaan of gebruiken en voor overheden die zijn belast met het toezicht op deze bedrijven en de vergunningverlening.
PEM	Proton exchange membrane of polymeer elektrolytmembraanvuldruk
Plaatsgebonden mensrisico	Het plaatsgebonden risico, uitgedrukt per jaar, is de kans dat een persoon op een bepaalde plaats in de buurt van een installatie of activiteit overlijdt ten gevolge van een zwaar ongeval met die installatie of activiteit. Daarbij wordt aangenomen dat de persoon zich gedurende één jaar permanent en onbeschermd op die plaats zou bevinden.

Publiek bezochte gebouwen en gebieden	Gebouwen en gebieden (incl. recreatiegebieden) waarbij de gemiddelde aanwezigheid minstens 200 personen per dag is of op piekmomenten minstens 1.000 personen aanwezig zijn. Met gemiddelde aanwezigheid wordt het gemiddeld aantal bezoekers gedurende de openingsperiode van het gebouw/gebied bedoeld [art. 2, Besluit ruimtelijke veiligheidsrapportage, 23-02-2013].
PSA	Pressure swing adsorption of drukwisseladsorptie.
QRA	Quantitative Risk Assessment of kwantitatieve risicoanalyse
Seveso-inrichting	Een inrichting of bedrijf waarbinnen gevaarlijke stoffen aanwezig kunnen zijn in hoeveelheden die de vastgelegde drempelwaarden en/of sommatieregels opgenomen in de Europese Seveso III-richtlijn overschrijden.
Team EV	Team Externe Veiligheid van het Departement Omgeving van de Vlaamse Overheid
Terugslagklep	Een afsluitsysteem dat het terugstromen van product verhindert.
UEL	Upper Explosion Limit (bovenste explosiegrens)
UTM	Uitstroming in 10 minuten
Vlarem	Vlaams Reglement voor de Milieuvergunning

I. INLEIDING

I.1. Doel van de studie

Het doel van de studieopdracht is het bepalen van externe en interne veiligheidsafstanden voor een aantal standaard ontwerpconfiguraties van waterstoftankstations. Aanvullend wordt een eenvoudige doch conservatieve evaluatiemethode voor het groepsrisico van deze standaard waterstoftankstations ontwikkeld.

I.1.1. Bepalen van externe veiligheidsafstanden

In Vlaanderen hanteert men risico-gebaseerde criteria voor de evaluatie van de impact van zware ongevallen met gevaarlijke stoffen die binnen een inrichting aanwezig zijn. Voor Seveso-inrichtingen wordt het mensrisico dat uitgaat van de installaties met gevaarlijke stoffen binnen de inrichting berekend middels een kwantitatieve risicoanalyse (QRA) die deel uitmaakt van een veiligheidsrapport of een veiligheidsstudie. Het berekende plaatsgebonden mensrisico wordt aanvaardbaar geacht indien dit risico beperkt blijft tot:

- ❑ $10^{-5}/j$ ter hoogte van de eigen perceelgrens;
- ❑ $10^{-6}/j$ ter hoogte van nabijgelegen gebieden met woonfunctie;
- ❑ $10^{-7}/j$ ter hoogte van kwetsbare locaties.

Voor andere inrichtingen waarbinnen gevaarlijke stoffen aanwezig zijn, maar die niet onder het toepassingsgebied van de Seveso-richtlijn vallen (bv. tankstations met zeer licht ontvlambare gassen) verkiest de Vlaamse overheid in overleg met de sector om te werken met vaste risicoafstandsregels (zgn. externe veiligheidsafstanden). Dergelijke veiligheidsafstanden zijn risico-gebaseerde afstanden die minimaal aangehouden dienen te worden tussen de installaties met gevaarlijke stoffen binnen de inrichting en naburige gevoelige omgevingsobjecten (o.a. woningen en kwetsbare locaties). De externe veiligheidsafstanden worden bepaald voor standaardinstallaties op basis van een uitgebreide QRA-studie en zijn in feite berekende afstanden tot een plaatsgebonden mensrisiconiveau van $10^{-5}/j$, $10^{-6}/j$ en $10^{-7}/j$.

Door het respecteren van de risicoafstandsregels kan men er tijdens het ontwerp van de inrichting reeds voor zorgen dat de risico's van zware ongevallen voor personen in de omgeving van de inrichting tot een aanvaardbaar niveau worden beperkt.

I.1.2. Bepalen van interne veiligheidsafstanden

Interne veiligheidsafstanden hebben enerzijds tot doel om preventief (tijdens het ontwerp van een inrichting) de kans op optreden van een domino-effect tussen verschillende installaties binnen eenzelfde inrichting te reduceren en anderzijds om de impact van te voorziene ongevallen op personen in de onmiddellijke omgeving van de installaties met gevaarlijke stoffen te beperken.

VERMIJDEN VAN DOMINO-EFFECTEN – Een domino-effect wordt gedefinieerd als een effect waarbij het falen van een installatie rechtstreeks of onrechtstreeks de oorzaak kan zijn van het falen van een naburige installatie, waarbij de gevolgen van het eerste ongeval substantieel worden vergroot door het falen van de tweede installatie en waarbij de kans op optreden van het domino-effect relevant is ten opzichte van de intrinsieke faalkans van deze tweede installatie.

Concreet wordt in deze studieopdracht nagegaan welke domino-effecten te verwachten zijn binnen de bestudeerde inrichtingen en welke interne scheidingsafstanden in acht dienen te worden genomen om de kans op optreden van dergelijke domino-effecten voldoende te reduceren.

BESCHERMEN VAN PERSONEN BINNEN DE INRICHTING – Binnen een tankstation kunnen er naast het verdelen van brandstoffen ook andere faciliteiten aanwezig zijn zoals een eetgelegenheid, een winkel, een car wash of een beveiligde parking voor vrachtwagens. Om de impact van te voorziene ongevallen met de waterstofverdeelinstallaties op personen binnen de inrichting maximaal te beperken dient voldoende afstand gehouden te worden tussen de geplande waterstofverdeelinstallaties en de overige faciliteiten binnen de inrichting.

Ter bepaling van de minimaal aan te houden scheidingsafstanden worden in onderhavige studieopdracht effectafstanden berekend voor te voorziene ongevallen (i.e. ongevallen met een hoge waarschijnlijkheid van voorkomen) met de bestudeerde standaard ontwerpconfiguraties van waterstoftankstations.

I.1.3. Ontwikkelen van een evaluatiemethode voor het groepsrisico

In Vlaanderen wordt het extern mensrisico dat uitgaat van een inrichting berekend en voorgesteld als een plaatsgebonden mensrisico en een groepsrisico. Het groepsrisico is de kans (per jaar) dat een aantal personen (> 10) in de omgeving van de inrichting gelijktijdig omkomt ten gevolge van een zwaar ongeval binnen de inrichting.

In tegenstelling tot het plaatsgebonden mensrisico is het berekende groepsrisico dus afhankelijk van de populatie die in de omgeving van de bestudeerde inrichting aanwezig kan zijn. Een generieke evaluatie van het groepsrisico van standaardinstallaties is bijgevolg niet eenvoudig aangezien de aanwezige populatie (die zeer verschillend kan zijn van locatie tot locatie) in rekening moet worden gebracht bij de evaluatie van dit risico.

Binnen onderhavig onderzoeksoopdracht zal een eenvoudige doch conservatieve evaluatiemethode voor het groepsrisico van waterstoftankstations worden ontwikkeld.

I.2. Onderzoeksactiviteiten

Het uitvoeren van de studieopdracht verloopt in verschillende stappen. Volgende onderzoeksactiviteiten worden geïdentificeerd:

1. Uitvoeren van een literatuurstudie en sectorbevraging ter bepaling van de huidige stand der techniek voor de verdeling van waterstof als brandstof aan voertuigen. Op basis van de geïdentificeerde stand der techniek worden vervolgens standaard tankstations en standaard componenten gedefinieerd.
2. Uitvoeren van een kwantitatieve risicoanalyse (QRA) ter bepaling van externe veiligheidsafstanden (risicoafstanden) voor de standaard componenten en standaard tankstation en uitwerken van een eenvoudige evaluatiemethode voor het groepsrisico.
3. Uitvoeren van effectberekeningen van te voorziene ongevallen met de standaard componenten ter bepaling van interne veiligheidsafstanden.

II. IDENTIFICEREN VAN STANDAARD WATERSTOFTANKSTATIONS OP BASIS VAN DE HUIDIGE STAND DER TECHNIEK

In dit deel van de studie wordt de huidige stand der techniek inzake de verdeling van waterstof als brandstof aan voertuigen in kaart gebracht, dit ter bepaling van de representatieve standaard componenten van een waterstoftankstation waarvoor interne en externe veiligheidsafstanden dienen te worden berekend.

In een eerste fase wordt nagegaan welke componenten of onderdelen typisch voorkomen op een waterstoftankstation (§II.1). Vervolgens worden de verschillende uitvoeringswijzen en karakteristieken van de afzonderlijke componenten besproken aan de hand van een literatuurstudie en een sectorbevraging om te komen tot een beperkt aantal representatieve standaard componenten (§ II.2). Deze standaardcomponenten worden in een volgend hoofdstuk onderworpen aan een kwantitatieve risicoanalyse.

Met behulp van een softwaretool kan het extern mensrisico van een volledig waterstoftankstation worden bepaald door de berekende mensrisico's die uitgaan van de individuele standaard componenten te combineren.

II.1. Uitvoeringstypen van waterstoftankstations

Een waterstoftankstation is in feite een eenvoudige samenbouwinstallatie, waarbij waterstof lokaal wordt geproduceerd of als gas⁽¹⁾ onder druk wordt aangeleverd op het station, vervolgens door compressoren op een hogere druk wordt gebracht om tenslotte te worden afgeleverd op een druk van 350 of 700 bar aan elektrische voertuigen die gevoed worden vanuit een brandstofcel (*zgn. fuel cell electric vehicles of FCEV's*).

De capaciteit van een waterstoftankstation varieert typisch van 50 kg/dag of 12 FCEV's/dag voor een klein tankstation, 200 kg/dag of 50 FCEV's/dag voor een gemiddeld tankstation tot 1.000 kg/dag of 250 FCEV's/dag voor een groot tankstation. Met betrekking tot de uitvoering van een waterstoftankstation wordt een onderscheid gemaakt naargelang (1) de wijze waarop het station wordt bevoorrad met waterstof, (2) de druk waarop het waterstof wordt afgeleverd en (3) de gehanteerde vulprocedure.

BEVOORADING VAN EEN TANKSTATION – Een tankstation kan op een continue wijze worden bevoorrad met waterstofgas of via discrete waterstofleveringen. Een continue bevoorrading van het station kan geschieden door een rechtstreekse aansluiting van het station op een waterstoftransportleiding (≤ 100 bar) of door de lokale productie van waterstof op het station via elektrolyse of een kleinschalige stoomreforming van aardgas (≤ 20 bar). In geval van een continue bevoorrading kan de compressor rechtstreeks worden aangesloten op de waterstofvoeding en dient het station niet te worden uitgerust met een omvangrijke lagedruk opslagbuffer.

In geval van discrete leveringen wordt waterstofgas onder druk aangevoerd via tube-trailers of batterijvoertuigen en wordt de inhoud van het transportvoertuig in een korte tijdspanne (max. 1 à 2 uren) via een slangverbinding getransfereerd naar een lagedruk opslagbuffer op het tankstation. Als een alternatief voor het lossen van waterstof op het station, wordt

⁽¹⁾ Waterstof kan ook worden aangevoerd als een diepgekoelde vloeistof (bij -253°C). Echter, de aanvoer van vloeibaar waterstof is enkel economisch rendabel voor stations met een zeer grote doorzet (≥ 1.000 kg/dag) waarbij waterstof vanop grote afstand moet worden aangevoerd. Het valt niet te verwachten dat dergelijke stations op middellange termijn in Vlaanderen worden ontwikkeld.

vaak gewerkt met zogenaamde verplaatsbare of verwisselbare opslagmedia. Een verwisselbaar opslagmedium kan bestaan uit een gasflessenbatterij of gascontainer met verscheidene elementen (MEGC) gevuld met waterstofgas onder hoge druk. Het verwisselbare opslagmedium wordt op een externe locatie afgevoerd, via een vrachtwagen of oplegger naar het tankstation gebracht, op het station geplaatst en door middel van een slangverbinding aangekoppeld aan de vaste installatie voor de verdeling van waterstof. Het verwisselbare opslagmedium fungeert op die manier als een lagedruk opslagbuffer voor de installatie. Wanneer de waterstofinhoud van het medium onder een bepaald niveau is gezakt, wordt het opslagmedium afgekoppeld en vervangen door een nieuw gevuld exemplaar. In de praktijk worden ook tube-trailers en batterijvoertuigen aangewend als een verwisselbaar opslagmedium, waarbij deze voertuigen dan langdurig (meerdere dagen) op het station aanwezig kunnen zijn.

De verschillende manieren waarop een waterstoftankstation kan worden bevoorrad, worden schematisch weergegeven in de figuren II.1.1 t.e.m. II.1.4.

AFLEVERING WATERSTOF AAN VOERTUIGEN – Personenwagens worden doorgaans bevoorrad op een druk van 700 bar⁽²⁾, terwijl bussen en vrachtwagens worden bevoorrad op een druk van 350 bar. Aangezien de afleverdruk meestal⁽³⁾ hoger is dan de druk in de lagedruk opslagbuffer van het station dient het waterstofgas met behulp van één of meerdere compressoren te worden opgedrukt tot de gewenste einddruk in de brandstoftank van het voertuig. Met betrekking tot vullen van waterstofvoertuigen (tanken) wordt een onderscheid gemaakt tussen volgende vulmethoden:

□ EEN CASCADEVULLING

Bij een cascade- of overloopvulstelsel wordt waterstof op het station opgeslagen in buffers van een verschillende omvang en op een verschillende druk. In geval van een cascadevulling wordt de brandstoftank van het te bevoorraden voertuig achtereenvolgens in verbinding gesteld met een buffer die gevuld is op een hogere druk⁽⁴⁾. Het gas stroomt daarbij steeds onder invloed van een drukverschil vanuit de opslagbuffer naar de brandstoftank van het voertuig totdat de druk tussen beide is geëgaliseerd. Op een publiek tankstation is het cascadevulstelsel geautomatiseerd (kleppen van de buffers worden automatisch open en dicht gestuurd), waarbij de compressor enkel wordt aangewend voor het bijvullen van de buffers en niet voor het bevoorraden van de voertuigen (zie figuur II.1.1).

Een cascadevulling is een snelle vulling (*fast fill*) waarbij de capaciteit van de buffers wordt bepaald in functie van het aantal voertuigen dat in een kort tijdsinterval moet worden bevoorrad en het vermogen (debiet) van de compressor.

□ EEN CASCADEVULSTELSEL MET ONDERSTEUNING DOOR EEN BOOSTER

Bij een cascadevulling met booster-ondersteuning kan een boostercompressor⁽⁵⁾ worden aangesproken om de laatste trap van een cascadevulling te voltooien. Dergelijke vulstrategie wordt toegepast om te vermijden dat de brandstoftank van een

⁽²⁾ Kleinere personenwagens hebben soms ook een brandstoftank met een ontwerpdruk van 350 bar.

⁽³⁾ De eenvoudigste configuratie van een waterstoftankstation bestaat uit een gascontainer met verscheidene elementen (MEGC), opgedeeld in verschillende drukbanken en voorzien van een geïntegreerde dispenser. De aflevering van waterstof gebeurt via een simpele cascadevulling (zonder compressoren). Als de waterstofinhoud van de elementen (gascilinders) onder een bepaald niveau is gezakt, wordt de MEGC extern terug gevuld. Dergelijke configuratie wordt dikwijls gebruikt voor demonstraties.

⁽⁴⁾ Een tankstation met voorzieningen voor de aflevering van waterstof op 350 en 700 bar heeft meestal een omvangrijke lagedruk bufferopslag (op 200 bar), een kleinere middendruk buffer (op 450 à 500 bar) en een kleine hogedruk buffer (op 850 à 1000 bar) om de vulling te voltooien. Om de compressie-energie te minimaliseren, worden de middendruk en hogedruk buffer soms verder opgedeeld in meerdere drukbanken.

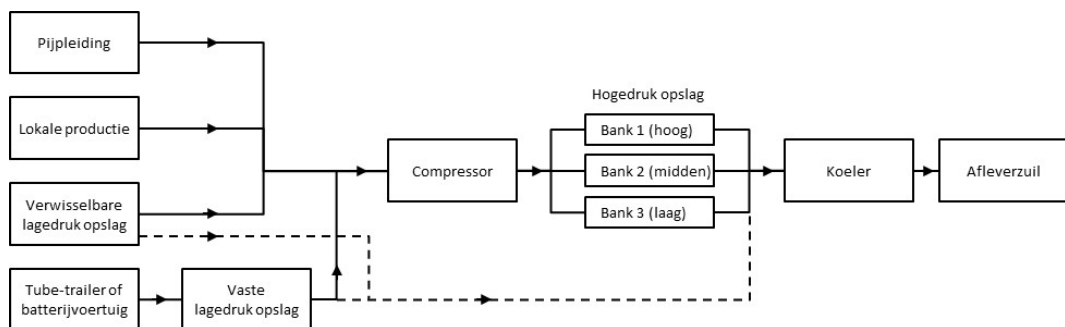
⁽⁵⁾ Een boostercompressor is een eenvoudige ééntraps (of tweetraps) compressor met een relatief hoog debiet die wordt gebruikt om de druk te verhogen van een gas dat zich al bevindt op een druk boven de omgevingsdruk.

voertuig niet meer volledig kan worden gevuld wanneer meerdere voertuigen achtereenvolgens komen tanken op hetzelfde station (zie figuur II.1.2).

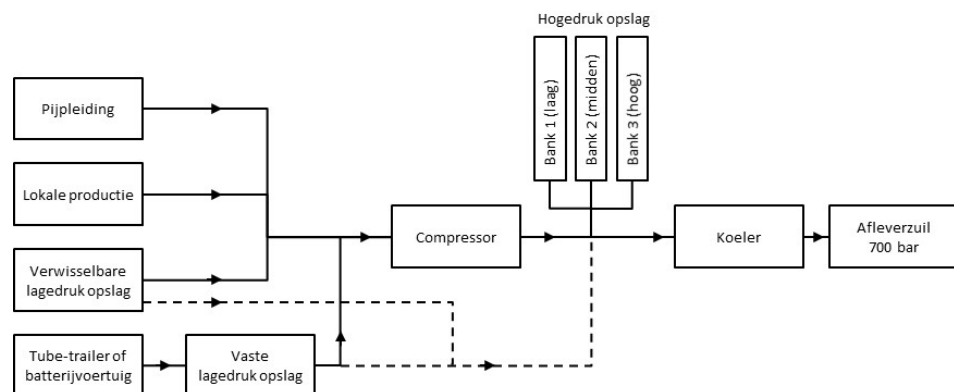
□ EEN BOOSTERVULSYSTEEM

Een tankstation met een boostervulstelsysteem beschikt niet over een buffer die op een hogere druk staat dan de gewenste afleverdruk. Nadat de brandstoftank van het te bevoorraden voertuig in verbinding is gesteld met de eventueel aanwezige lagedruk opslagbuffer (of middendruk buffer) en de druk tussen beide is geëgaliseerd, wordt de boostercompressor aangesproken om de vulling te voltooien (zie figuur II.1.3). Een boostervulstelsysteem (*slow fill*) werkt doorgaans trager dan een cascadevulstelsysteem (*fast fill*), maar vereist een minder grote investering.

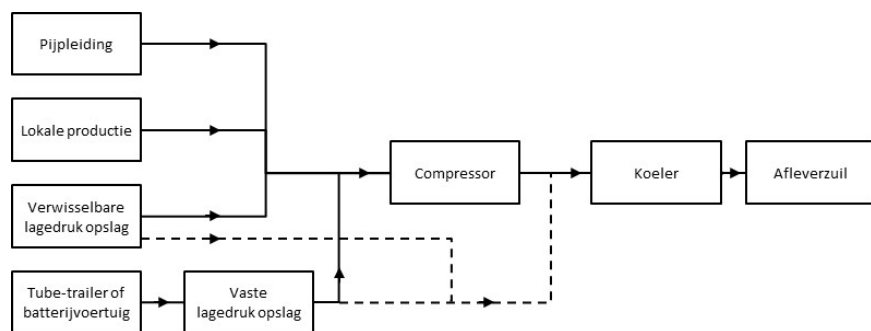
Figuur II.1.1: Schematische weergave van een waterstof tankstation met een cascadevulling



Figuur II.1.2: Schematische weergave van een waterstof tankstation met een cascadevulling met ondersteuning door een booster



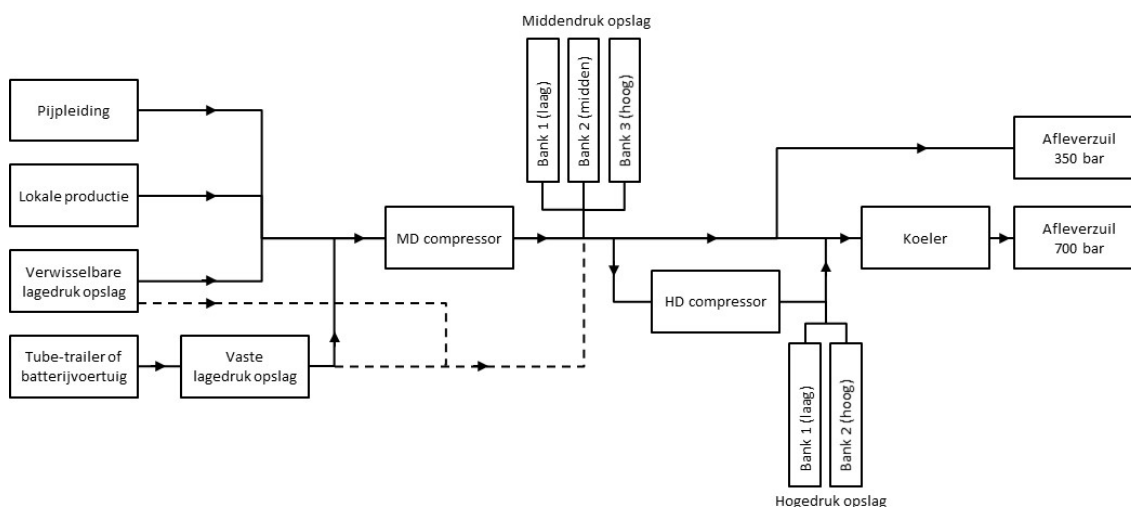
Figuur II.1.3: Schematische weergave van een waterstof tankstation met een boostervulling



Indien naast een aflevering van waterstof op 700 bar ook een aflevering van waterstof op 350 bar wordt beoogd, dan wordt de compressie doorgaans opgedeeld in twee stappen en wordt het gecomprimeerde gas na de eerste stap opgeslagen in een middendruk buffer.

Eén van de vele mogelijke ontwerpconfiguraties voor zo'n tankstation wordt weergegeven in figuur II.1.4.

Figuur II.1.4: Schematische weergave van een waterstoftankstation met een cascade-vulling op 350 bar en cascade-vulling met booster-ondersteuning op 700 bar



BELANGRIJKSTE COMPONENTEN – Zoals hierboven aangegeven is een waterstoftankstation opgebouwd uit een aantal componenten die van elkaar kunnen worden geïsoleerd in geval van een incident op het station (i.e. modulaire opbouw). De belangrijkste componenten die kunnen voorkomen op een tankstation zijn:

- een hogedruk waterstoftransportleiding die instaat voor de voeding van het station
- een lokale productie-eenheid (elektrolyse of stoomreforming van aardgas)
- een tube-trailer of batterijvoertuig met bijhorende los- of koppelslang
- een (vaste of verwisselbare) lagedruk opslagbuffer als voeding voor de compressor
- een of meerdere compressoren
- een middendruk en/of hogedruk opslagbuffer
- een gaskoeler⁽⁶⁾
- verdeelzuilen met verdeelslangen voor personenwagens (350 of 700 bar) en bussen of vrachtwagens (350 bar)

AANWEZIGE VEILIGHEIDSMATREGELEN – Op een waterstoftankstation worden een aantal veiligheidsmaatregelen genomen om de kans op een ongewenste vrijzetting van waterstof tot een minimum te beperken (zgn. preventieve maatregelen) en om in het geval van een vrijzetting de gevolgen van de vrijzetting te beheersen (zgn. mitigerende maatregelen).

De belangrijkste preventieve maatregelen die worden meegenomen in het ontwerp van een waterstoftankstation zijn:

- correcte materiaalkeuze en gebruik van geschikte verbindingen waarbij rekening wordt gehouden met de kleine molecuulgrootte van waterstof waardoor het makkelijker dan andere gassen in of zelfs door een materiaal heen kan diffunderen;
- voorzien van drukmetingen met bewaking op kritische punten in de installatie. Bij het detecteren van een abnormaal hoge druk (bv. in de opslag, aan de uitlaat van de compressoren en de afleverzuil) of een abnormaal lage druk (bv. aan de inlaat van de

⁽⁶⁾ Voor een snelle aflevering van waterstofgas op een druk van 700 bar is het noodzakelijk om het gas tijdens de transferoperatie te koelen (zie § II.2.8).

- compressoren, in de opslag en de buffers) wordt het noodstopsysteem⁽⁷⁾ automatisch geactiveerd waardoor de installatie in een veilige toestand wordt gebracht;
- ❑ voorzien van temperatuurmetingen met bewaking op kritische punten in de installatie (bv. in de lagedruk opslag, in de uitlaat van de compressoren en de afleverzuil). Bij het detecteren van een abnormaal hoge temperatuur wordt het noodstopsysteem automatisch geactiveerd en wordt de installatie in een veilige toestand gebracht;
 - ❑ voorzien van een breekkoppeling in de verdeelslangen (en losslang) die een vrijzetting van waterstof voorkomt bij het weggrijden met een aangekoppelde slang;
 - ❑ voorzien van overdrukbeveiligingen op alle delen van de installatie waarin een druk zou kunnen ontstaan die hoger is dan de maximale ontwerpdruk. Bij het aanspreken van een overdrukbeveiliging dient de overmaat aan waterstof op een veilige locatie te worden afgeblazen;
 - ❑ voorzien van een thermisch geactiveerde klep (*fusible plug*) of manueel bedienbare klep waarmee de gasinhoud van een gascilinder kan worden afgeblazen naar een veilige locatie, indien de cilinder langdurig wordt blootgesteld aan een externe brand;
 - ❑ periodiek uitvoeren van lekdichtheidstesten op het tankstation door bepaalde secties (bv. compressoren en buffers) in te blokken en na te gaan of de druk in de sectie aangehouden kan worden;
 - ❑ automatisch testen van de lekdichtheid van de afleverzuil en de afleverslang voorafgaand aan elke tankbeurt;
 - ❑ periodiek uitvoeren van inspecties en onderhoud;
 - ❑ voorzien van een ommuring of hekwerk (evt. in combinatie met camerabewaking) rond de waterstofinstallaties om te vermijden dat onbevoegden rechtstreeks toegang hebben tot de installaties;
 - ❑ voorzien van een aanrijbeveiliging rond de waterstofinstallaties om mechanische impact te vermijden.

Een aantal belangrijke mitigerende maatregelen die deel kunnen uitmaken van het ontwerp van een waterstoftankstation zijn:

- ❑ voorzien van terugslagkleppen in de installatie waardoor een langdurige of omvangrijke vrijzetting van waterstof wordt verhinderd bij het plots omkeren van de normale stroomrichting (bv. aan de inlaat van de opslagbuffers of aan de uitlaat van een compressor);
- ❑ voorzien van noodafsluiters tussen de verschillende installatie-onderdelen om lek-kende onderdelen te kunnen isoleren van de rest van de installatie en zo het leeglopen van de gehele installatie te voorkomen;
- ❑ voorzien van noodstop-schakelaars op verschillende goed bereikbare locaties in de nabijheid van de waterstofinstallaties. Na activatie van het noodstopsysteem kan de installatie enkel terug worden opgestart door een bevoegd techniker na een inspectie en diagnose ter plaatse;
- ❑ het plaatsen van installaties in een open omgeving (openlucht), voor zover weersinvloeden geen nadelige impact hebben op de integriteit en de goede werking van de

⁽⁷⁾ Door het activeren van het noodstopsysteem worden bepaalde installatie-onderdelen (compressoren en productie-installaties) stilgelegd, wordt de waterstoftoevoer naar het station afgesloten, worden bepaalde secties ingeblokkt via de aanwezige noodafsluiters en mogelijk drukloos gesteld door het aanwezige waterstofgas af te blazen op een veilige locatie. In besloten ruimten die zijn uitgerust met een actief ventilatiesysteem kan het ventilatiedebiet verder tijdelijk worden verhoogd. Aanwezigen op het tankstation dienen bij het in werking treden van het noodstopsysteem te worden gewaarschuwd door een auditief en/of visueel alarmsignaal.

installaties (bv. compressoren). Dit om het optreden van overdrukeffecten (explosie) bij ontsteking van een incidenteel gevormde waterstofwolk te vermijden;

- ❑ voorzien van voldoende (passieve of actieve) ventilatie in besloten ruimten om de vorming van een explosieve atmosfeer in de ruimte te verhinderen bij te verwachte lekkages aan de installatie^(8,9). Bij het uitvallen van actieve ventilatiesystemen dient het noodstopsysteem te worden geactiveerd;
- ❑ voorzien van gas- en branddetectie in besloten ruimten met een automatische aansturing van het noodstopsysteem bij het overschrijden van een bepaalde concentratiedrempel in de ruimte;
- ❑ voorzien van explosiedrukontlasting in het dak of in de wand van besloten ruimten waarin de vorming van een explosieve atmosfeer niet kan worden uitgesloten. Bij het plaatsen van een drukontlastingssysteem in de wand van een ruimte dient rekening gehouden te worden met mogelijke effecten (i.e. overdruk, weggeslingerde fragmenten) in de richting van de drukontlasting;
- ❑ voorzien van brandwerende muren of schermen tussen installatie-onderdelen;
- ❑ opmaken van een zoneringsplan (ATEX) en het gebruik van aangepaste (explosie-veilige) apparatuur in overeenstemming met de afgebakende zones. Elektrisch materiaal dat niet in overeenstemming is met de vereisten van de afgebakende zone dient te worden ondergebracht in een afgescheiden ruimte voorzien van een voldoende (actieve) ventilatie;
- ❑ instellen van een rookverbod en een open vuurverbod in de nabijheid van de verdeelinstallaties. Bijkomend dient het gebruik van elektronische toestellen in de omgeving van de verdeelinstallaties te worden verboden (via pictogrammen);
- ❑ correct aarden van de verschillende installatie-onderdelen.

II.2. Representatieve standaard componenten

In onderstaande paragrafen wordt een beschrijving gegeven van de verschillende componenten die op een waterstoftankstation aanwezig kunnen zijn. Aan de hand van een literatuurstudie en een sectorbevraging worden de verschillende uitvoeringswijzen en karakteristieken (o.a. volume, diameter, debiet, maximale werkingsdruk, aanwezige veiligheidsmaatregelen) van de componenten die relevant zijn voor het risico dat uitgaat van het tankstation in kaart gebracht.

Voor elke component worden vervolgens een beperkt aantal representatieve of standaard uitvoeringswijzen weerhouden, waarvoor de risico's zullen worden berekend en de minimale veiligheidsafstanden zullen worden bepaald.

II.2.1. Transportleidingen

STAND DER TECHNIEK – In de Benelux exploiteert Air Liquide een netwerk van ondergrondse waterstoftransportleidingen met een diameter van 4" en 6" (100 en 150 mm) op een druk van maximaal 100 bar. Het volledige leidingnetwerk is ca. 900 km lang en wordt getoond in figuur II.2.1.

⁽⁸⁾ Bij het ontwerp van de ruimte en het ventilatiesysteem dienen de nodige maatregelen genomen te worden om een niet detecteerbare accumulatie van waterstof in het bovenste deel van de ruimte te vermijden.

⁽⁹⁾ In geval van een actieve ventilatie kan het ventilatiedebiet bij gasdetectie in de ruimte worden verhoogd om de kans op het optreden van een explosie in de ruimte verder te beperken.

Figuur II.2.1.1: Waterstoftransportleidingen van Air Liquide in de Benelux

Een waterstoftankstation kan in principe rechtstreeks worden aangesloten op dit leidingnetwerk, waarbij ondergrondse en bovengrondse leidingsegmenten op het tankstation over het algemeen een totale lengte hebben van 5 tot 20 meter.

STANDAARD COMPONENTEN – Er worden vier standaard componenten gedefinieerd voor de aanvoer van waterstof via een transportleiding. Het betreft een ondergrondse en bovengronds leidingsegment met een standaardlengte⁽¹⁰⁾ van 5 m en een diameter van respectievelijk 100 en 150 mm op een druk van 100 bar (zie tabel II.2.1.1).

Tabel II.2.1.1: Standaard componenten voor een aanvoer via een waterstoftransportleiding

Binnendiameter	Positie en lengte
100 mm	ondergronds (5 m)
	bovengronds (5 m)
150 mm	ondergronds (5 m)
	bovengronds (5 m)

II.2.2. Lokale productie-eenheden

STAND DER TECHNIEK – Waterstof kan lokaal op het tankstation worden geproduceerd via elektrolyse of stoomreforming van aardgas.

ELEKTROLYSE – Bij elektrolyse worden watermoleculen onder invloed van een elektrische stroom gesplitst in zuurstof en waterstof. Omdat de benodigde energie bij dit proces over het algemeen hoger is dan de energie-inhoud van het geproduceerde waterstof, wordt deze methode meestal gebruikt in combinatie met de lokale opwekking van groene stroom uit wind- of zonne-energie. Overschotten aan groene stroom kunnen dan worden aangewend voor de lokale productie van waterstof.

Hydrogenics produceert gecontaineriseerde alkalische en PEM elektrolyse-modules voor waterstoftankstations met een productiecapaciteit van 10 tot 500 Nm³/h (20 tot 1000 kg/dag) en een afleverdruk van 10 of 30 bar. Naast de eigenlijke elektrolyse-eenheid bevatten de modules een waterzuiveringssysteem en een waterstofzuivering- en droogeenheid. De constructie van de containers is zodanig dat bepaalde delen van de container (sturing en nutsvoorzieningen) volledig gasdicht zijn afgescheiden van andere delen van de container (procesinstallaties). Het deel van de container waarin de procesinstallaties staan heeft een aparte afzuiging (ventilatie) en is verder opgedeeld in verschillende zones waarbij het

⁽¹⁰⁾ De aanwezigheid van langere leidingsegmenten kan in rekening worden gebracht in de softwaretool voor het bepalen van externe veiligheidsafstanden, door het aantal elementen (leidingsegmenten) te verhogen.

binnendringen van waterstof in de aangrenzende zones wordt voorkomen door het onderhouden van een drukverschil tussen de verschillende zones. Op die manier wordt de ruimte waarin een explosieve atmosfeer kan worden gevormd beperkt tot 25 à 30% van het containervolume (zie figuur II.2.2.3). Tabel II.2.2.1 geeft een overzicht van de modules die door Hydrogenics op de markt worden gebracht.

Tabel II.2.2.1: Gecontaineriseerde elektrolyse-modules van Hydrogenics

Type	Afleverdebiet	Afleverdruk (insteldruk PRD's)	Waterstof-inhoud	Omvang behuizing
HySTAT 10 (alkalische elektrolyse)	4 – 10 Nm ³ /h	10 bar (15 bar) of 27 bar (30 bar)	max. 2,5 Nm ³ (220 g)	20 ft high cube container (ATEX-zone: 25%)
HySTAT 15 (alkalische elektrolyse)	6 – 15 Nm ³ /h			
HySTAT 30 (alkalische elektrolyse)	12 – 30 Nm ³ /h			
HySTAT 45 (alkalische elektrolyse)	18 – 45 Nm ³ /h	10 bar (15 bar)	max. 5,7 Nm ³ (500 g)	40 ft high cube container (ATEX-zone: 25%)
HySTAT 60 (alkalische elektrolyse)	24 – 60 Nm ³ /h			
HySTAT 100 (alkalische elektrolyse)	40 – 100 Nm ³ /h			
HyLYZER 200 (PEM elektrolyse)	2 – 200 Nm ³ /h	30 bar (35 bar)	max. 18 Nm ³ (1500 g)	2x 40 ft high cube container (ATEX-zone: 30%)
HyLYZER 300 (PEM elektrolyse)	3 – 300 Nm ³ /h			
HyLYZER 400 (PEM elektrolyse)	4 – 400 Nm ³ /h			
HyLYZER 500 (PEM elektrolyse)	5 – 500 Nm ³ /h			

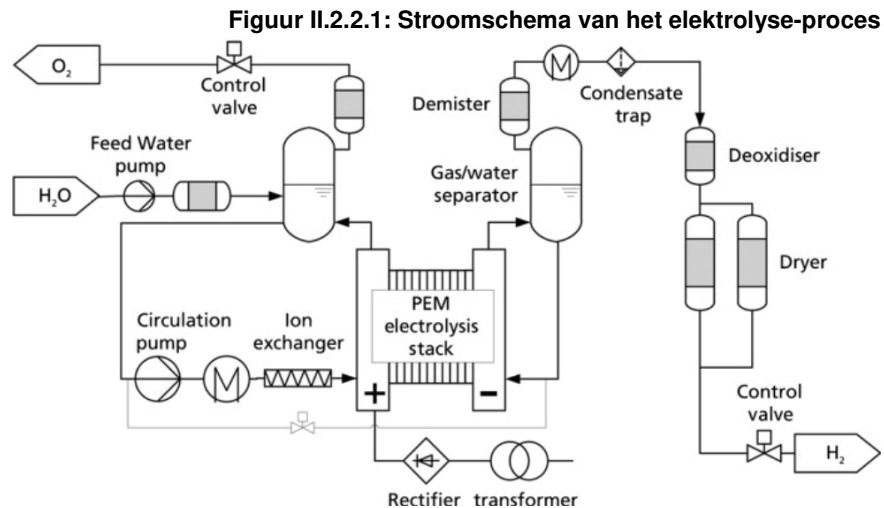
McPhy produceert soortgelijke gecontaineriseerde alkalische elektrolyse-modules (type: McLyzer) voor tankstations met een capaciteit van 10 tot 400 Nm³/h (20 tot 800 kg/dag) en een afleverdruk van 30 bar.

Op de tankstations van Waterstofnet te Halle en Helmond wordt waterstof geproduceerd via alkalische en PEM elektrolyse-modules van Hydrogenics met een capaciteit van 30 Nm³/h (65 kg/dag). Op tankstations in Stuttgart, Hamburg (Hafencity) en Aberdeen worden respectievelijk 1, 2 en 3 elektrolyse-modules van het type HySTAT 60 aangewend. Op het tankstation in Berlijn (Brandenburg Airport) is een elektrolyse-module van McPhy geïnstalleerd met een capaciteit van 100 Nm³/h (200 kg/dag).

Het grootste risico dat uitgaat van de gecontaineriseerde elektrolyse-modules is dat van een gasexplosie in de module na een vrijzetting van waterstof uit een installatie-onderdeel. Om dit risico te beheersen zijn volgende veiligheidsmaatregelen voorzien in de elektrolyse-modules die door Hydrogenics op de markt worden gebracht:

- ❑ voorkomen van de vorming van een omvangrijke brandbare gaswolk in de container door het voorzien van een gasdichte scheiding tussen de procesinstallaties en de utilities en door het aanhouden van een drukverschil (via actieve ventilatie) tussen zones waarin enerzijds waterstofhoudende installatie-onderdelen staan opgesteld en anderzijds andere installatie-onderdelen zijn ondergebracht;
- ❑ voorzien van voldoende actieve ventilatie in de container om ophoping van waterstofgas in de container in geval van een accidentele emissie te vermijden. Bij het uitvallen van de actieve ventilatie wordt een alarm gegenereerd dat na een zekere tijd resulteert in een noodstop;
- ❑ vermijden van ontstekingsbronnen door het gebruik van aangepast elektrisch materiaal in de explosiegevaarlijke zone (ATEX-zone) van de container;
- ❑ voorzien van gasdetectie met automatische aansturing van een noodstop die de installatie stillegt, inbloeit en drukloos stelt en tegelijkertijd het ventilatie-debiet verhoogt;
- ❑ voorzien van een drukontlastingssysteem (explosieluiken) in de container die de explosieoverdruk reduceert in geval van een gasexplosie in de container.

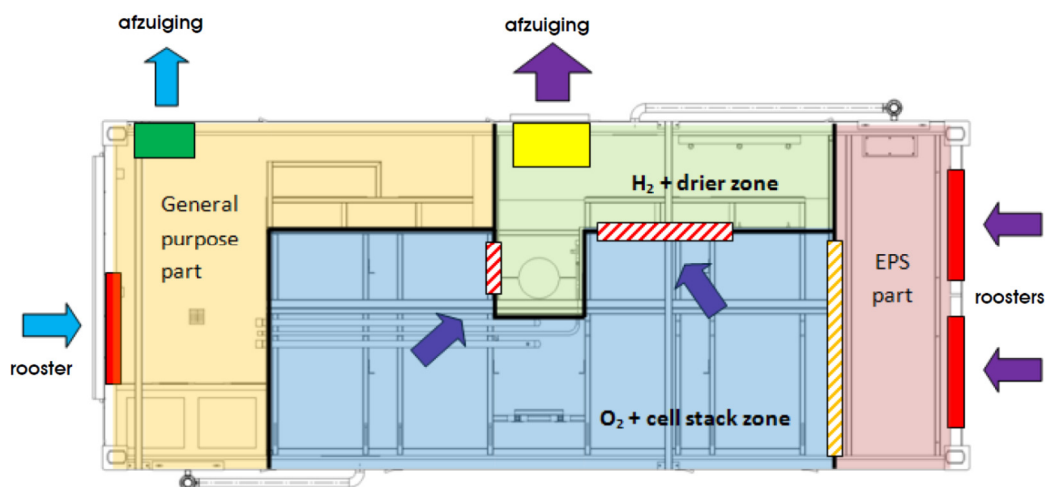
Figuren II.2.2.1 en II.2.2.2 tonen respectievelijk een stroomschema van het elektrolyseproces en een schematische voorstelling van een gecontaineriseerde elektrolyse-module. Op basis van het stroomschema worden er in de installatie vier procesdrukvatten geïdentificeerd die waterstofgas op druk bevatten, nl. een vloeistof/gas-scheider, een druppelvanger (demister), een deoxidiser en een gasdroger⁽¹¹⁾.



Figuur II.2.2.2: Schematische voorstelling van een gecontaineriseerde HySTAT 60 en HyLYZER 400 elektrolyse-module



Figuur II.2.2.3: Principeschema van de actieve ventilatie in een HySTAT elektrolyse-module



¹¹ De gasdroger bestaat uit twee drukvaten, waarvan er één in gebruik is om het waterstofgas te drogen terwijl de andere wordt geregenereerd.

STOOMREFORMING VAN AARDGAS – Stoomreforming is een chemisch proces waarbij een koolwaterstof (ontzwaveld aardgas) in aanwezigheid van stoom, warmte en een katalysator wordt omgezet in een waterstofrijk gasmengsel, zgn. synthesesgas. Met de Pressure Swing Adsorption (PSA) technologie wordt waterstof op het einde van het proces gescheiden van de andere gassen (het zogenaamde off-gas), waaronder CO₂, H₂O, CO en CH₄.

Hygear produceert gecontaineriseerde en geautomatiseerde stoomreforming-modules voor waterstoftankstations met een productiecapaciteit van ca. 50, 100 en 150 Nm³/h (100 tot 600 kg/dag). Naast de eigenlijke reformer bevatten de modules zuiveringsinstallaties voor aardgas (ontzwaveling), water (omgekeerde osmose) en waterstofgas (PSA-gebaseerde gaszuivering). Tabel II.2.2.2 geeft een overzicht van de modules die door Hygear op de markt worden gebracht voor tankstations.

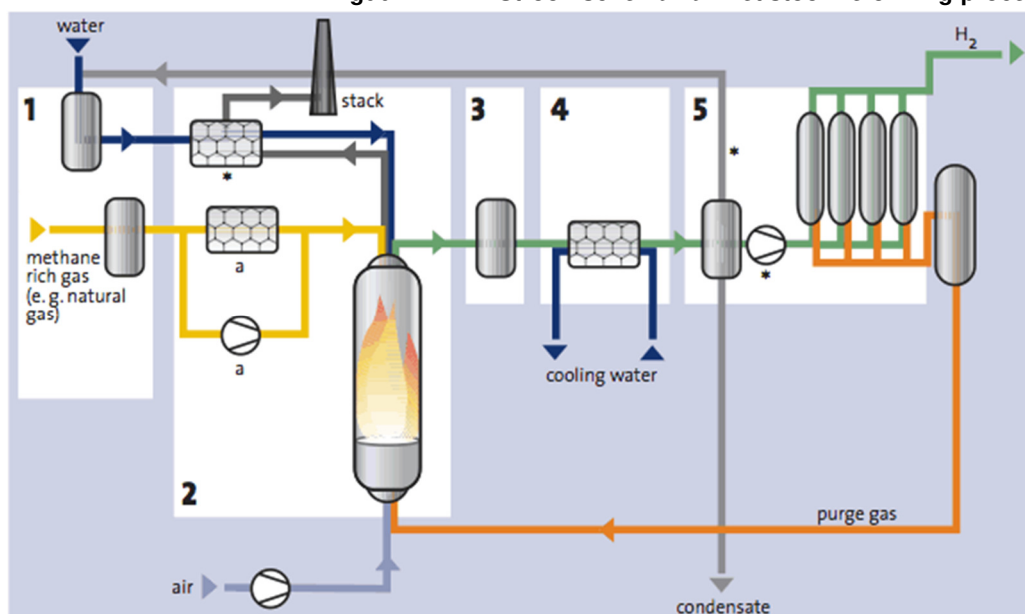
Tabel II.2.2.2: Gecontaineriseerde stoomreformer-modules van Hygear

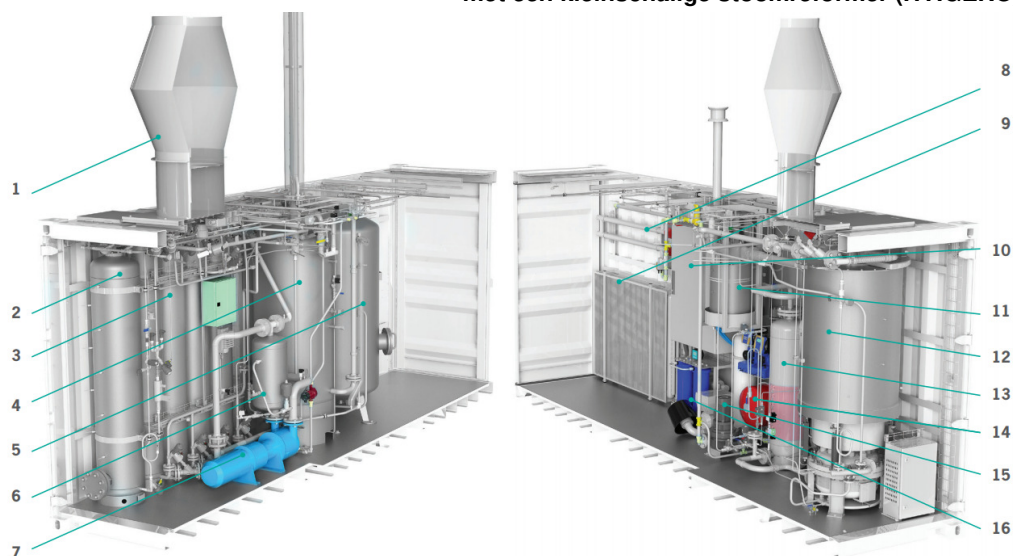
Type	Afleverdebiet	Werkingsdruk	Gas-inhoud	Omvang behuizing
Hy.Gen 50	max. 52 Nm ³ /h	aardgastoevoer: 10 – 11 barg waterstofaflevering: 1,5 – 7,5 barg	aardgas: 3 Nm ³ (2,5 kg) waterstof: 15 Nm ³ (1,35 kg)	20 ft container (ATEX-zone: 2NE*)
Hy.Gen 100	max. 104 Nm ³ /h	aardgastoevoer: 10 – 11 barg waterstofaflevering: 1,5 – 7,5 barg	aardgas: 6 Nm ³ (5 kg) waterstof: 22 Nm ³ (2,0 kg)	40 ft container (ATEX-zone: 2NE*)
Hy.Gen 150	max. 156 Nm ³ /h	aardgastoevoer: 10 – 11 barg waterstofaflevering: 1,5 – 7,5 barg	aardgas: 6 Nm ³ (5 kg) waterstof: 25 Nm ³ (2,25 kg)	40 ft container (ATEX-zone: 2NE*)

(*) De containers van HyGear zijn volgens de ATEX-richtlijn geclassificeerd als zones 2NE. Dit betekent dat de ventilatiegraad zodanig is dat de omvang van een brandbaar gasmengsel in de container bij een klein lek aan de installaties beperkt blijft tot maximaal 1% van het volume van de container en dat onder de gegeven omstandigheden een relevante drukopbouw in de container aldus niet te verwachten is bij ontsteking van het gasmengsel.

Figuren II.2.2.4 en II.2.2.5 tonen respectievelijk een stroomschema van het stoomreforming-proces en een schematische voorstelling van een gecontaineriseerde reformer-module. In het stroomschema wordt een onderscheid gemaakt tussen (1) de voedingsvoorbereiding (waterzuivering en ontzwaveling van aardgas), (2) stoomproductie en reforming-reactie, (3) conversie op hoge temperatuur (water-gas-shift-reactie), (4) koeling van het waterstofrijk gasmengsel en (5) zuivering.

Figuur II.2.2.4: Stroomschema van het stoomreforming-proces



Figuur II.2.2.5: Schematische voorstelling van een container met een kleinschalige stoomreformer (HY.GEN®)

Op basis van het stroomschema worden er in de installatie vier procesdrukvaten (ontzwellingsvat, reformer, water-gas-shift reactor en PSA⁽¹²⁾), twee warmtewisselaars (recuperatiewarmtewisselaar en reformaatkoeler) en twee opslagdrukvaten (opslagvaten voor off-spec gas en waterstof) geïdentificeerd die ontvlambare gassen op druk bevatten.

Het grootste risico verbonden aan de gecontaineriseerde stoomreformer-modules gaat opnieuw uit van een gasexplosie in de module na vrijzetting van aardgas of waterstof uit een installatie-onderdeel. Om het risico op een gasexplosie in een reformer-module te beheersen zijn volgende veiligheidsmaatregelen voorzien in de modules die door HyGear op de markt worden gebracht:

- ❑ voorzien van voldoende (actieve) ventilatie in de container om ophoping van aardgas of waterstofgas in de container in geval van een accidentele emissie te vermijden⁽¹³⁾. Bij uitvallen van de actieve ventilatie wordt een alarm gegenereerd dat na een zekere tijd resulteert in een noodstop;
- ❑ voorzien van gasdetectie met automatische aansturing van een noodstop die de installatie stillegt en inblokt. Tegelijkertijd wordt het ventilatiedebiet verhoogd in de container en wordt de druk in de stoomhoudende onderdelen onder controle gehouden door de geproduceerde stoom af te blazen naar de atmosfeer.

Het risico dat uitgaat van een stoomreformer-module wordt wel hoger ingeschat dan het risico dat uitgaat van een elektrolyse-module omdat (1) in een reformer-module meer onderdelen zitten die een ontvlambaar gas bevatten en de kans op vorming van een explosieve atmosfeer in de container dus groter is dan bij een elektrolyse-module en (2) de reformer-module niet is opgedeeld in verschillende (gasdichte) zones om de verspreiding van een brandbaar gas in de container te voorkomen [1].

STANDAARD COMPONENTEN – Voor de gecontaineriseerde elektrolyse-modules worden vier standaard componenten gedefinieerd in functie van de capaciteit van de module en de daaraan gekoppelde omvang van de besloten ruimte waarin een explosieve atmosfeer kan worden gevormd (zie tabel II.2.2.3). Het betreffen modules die bestaan uit één 20 ft high

⁽¹²⁾ De PSA (pressure swing adsorption) bestaat uit twee drukvaten, waarvan één in gebruik is om het waterstofgas te zuiveren (scheiden van andere gassen), terwijl de andere wordt geregenereerd.

⁽¹³⁾ Om een voldoende hoog ventilatiedebiet te kunnen garanderen is er een groot ventilatierooster (2 x 1,5 m) aangebracht in een zijwand van de module. Deze ventilatieopening zorgt ook voor een (beperkte) drukontlasting in geval van een gasexplosie in de module.

cube container⁽¹⁴⁾ (capaciteit: 10 - 30 Nm³/h), één 30 ft high cube container (capaciteit: 15 - 45 Nm³/h), één 40 ft high cube container (capaciteit: 30 - 100 Nm³/h) en twee 40 ft high cube containers (capaciteit: 200 - 500 Nm³/h).

Tabel II.2.2.3: Standaard elektrolyse-eenheden

Omvang v/d module	Indicatieve productiecapaciteit	Max. omvang v/d zone met explosieve atmosfeer	Veiligheidsmaatregelen
1x 20ft high cube container	10 – 30 Nm ³ /h (20 – 65 kg/dag)	ca. 12,5 m ³ (1/3 van 37,5 m ³)	standaard: gasdetectie + autom. noodstop optioneel: explosieluiken
1x 30ft high cube container	15 – 45 Nm ³ /h (30 – 90 kg/dag)	ca. 18,7 m ³ (1/3 van 56 m ³)	standaard: gasdetectie + autom. noodstop optioneel: explosieluiken
1x 40ft high cube container	30 – 100 Nm ³ /h (90 – 200 kg/dag)	ca. 25 m ³ (1/3 van 75 m ³)	standaard: gasdetectie + autom. noodstop optioneel: explosieluiken
2x 40ft high cube container	200 – 500 Nm ³ /h (400 – 1000 kg/dag)	ca. 50 m ³ (2/3 van 75 m ³)	standaard: gasdetectie + autom. noodstop optioneel: explosieluiken

Voor de gecontaineriseerde reformer-modules worden twee soortgelijke modules gedeïnieerd, respectievelijk bestaande uit één 20 ft en één 40 ft normale container (zie tabel II.2.2.4). De omvang van de besloten ruimte waarin een explosieve atmosfeer kan worden gevormd is groter dan bij een elektrolyse-module (zie hoger).

Tabel II.2.2.4: Standaard reformer-eenheden

Omvang v/d module	Indicatieve productiecapaciteit	Max. omvang v/d zone met explosieve atmosfeer ^(*)	Veiligheidsmaatregelen
1x 20ft container	50 Nm ³ /h (20 – 65 kg/dag)	ca. 22 m ³ (2/3 van 33 m ³)	standaard: gasdetectie + autom. noodstop optioneel: explosieluiken
1x 40ft container	100 – 150 Nm ³ /h (30 – 90 kg/dag)	ca. 44 m ³ (2/3 van 66 m ³)	standaard: gasdetectie + autom. noodstop optioneel: explosieluiken

^(*) Er wordt aangenomen dat 1/3 van het containervolume wordt ingenomen door de aanwezige installaties in de container.

II.2.3. Tube-trailer en batterijvoertuigen en bijhorende losinstallaties

STAND DER TECHNIEK – Voor het transport van waterstof over de weg wordt over het algemeen gebruik gemaakt van tube-trailers. Een tube-trailer is opgebouwd uit een beperkt aantal stalen drukcilinders (typisch 9 tot 18 elementen) met een diameter van 559 mm, een lengte tussen 5,5 en 11 m (18 en 36 ft), een individueel volume tussen 1.100 en 2.300 liter en een maximale werkingsdruk van 220 bar. Bij een typische vuldruk van 200 bar bevat een tube-trailer doorgaans tussen 270 en 420 kg (3.000 en 4.700 Nm³) waterstof. De diameter van de grootste aansluiting op de drukcilinders bedraagt typisch 8 mm [2].

Figuur II.2.3.1: Voorbeeld van een tube-trailer met 9 stalen drukcilinders (max. 200 bar)



⁽¹⁴⁾ Een high cube container is 30 cm hoger dan een normale container en heeft een interne hoogte van 2,69 m i.p.v. 2,39 m.

Recent werd een nieuw type van voertuigen (zgn. batterijvoertuigen) in gebruik genomen voor het transport van waterstof op een druk van 200 of 500 bar. Dergelijke batterijvoertuigen zijn opgebouwd uit een groot aantal stalen of composieten cilinders met een individueel volume van 50 tot 350 liter gemonteerd in een vast raamwerk, die onderling zijn verbonden en opgedeeld in een aantal gescheiden banken. De batterijvoertuigen hebben doorgaans een hogere capaciteit dan de tube-trailers. Bij een vuldruk van 200 bar kan een batterijvoertuig tussen 270 en 740 kg (3.000 en 8.200 Nm³) waterstof bevatten. Bij een vuldruk van 500 bar kan de inhoud oplopen tot 1.500 kg (16.800 Nm³). De diameter van de grootste aansluiting op de gasflessen en drukcilinders bedraagt typisch 5 mm. Enkele bestaande voorbeelden van dergelijke batterijvoertuigen zijn:

- ❑ batterijvoertuig met 295 cilinders van 85 liter (7 banken, werkingsdruk 200 bar)
- ❑ batterijvoertuig met 228 cilinders van 165 liter (8 banken, werkingsdruk 200 bar)
- ❑ batterijvoertuig met 224 cilinders van 165 liter (8 banken, werkingsdruk 500 bar)
- ❑ batterijvoertuig met 105 cilinders van 350 liter (7 banken, werkingsdruk 500 bar)

Tube-trailers of batterijvoertuigen worden ingezet om waterstofgas op hoge druk te transporteren van een productie-eenheid naar een tankstation, maar kunnen op het tankstation zelf ook worden aangewend als een verwisselbare lagedruk opslagbuffer⁽¹⁵⁾, die langdurig (meerdere dagen) op het station aanwezig is en eenmaal leeg wordt vervangen door een nieuw exemplaar. In het eerste geval wordt de inhoud van de tube-trailer of het batterijvoertuig met behulp van een flexibele losslang en vaste leiding onder invloed van een drukverschil getransfereerd naar de vaste lagedruk opslag van het tankstation. Dergelijke losoperatie neemt afhankelijk van de te lossen hoeveelheid, het drukverschil en de diameter van de losslang 30 tot 150 minuten in beslag. Wanneer de tube-trailer of het batterijvoertuig wordt aangewend als een verwisselbare opslagbuffer op het station, dan wordt dit voertuig via een flexibele koppelslang en een vaste leiding langdurig (een of meerdere dagen) in verbinding gesteld met de vaste verdeelinstallatie op het station.

De flexibele hogedruk losslang of koppelslang heeft een typische diameter van 1/4" (6 mm) tot 1/2" (12 mm) en is opgebouwd uit een flexibele roestvast stalen, polyester of polyamide buis voorzien van een verstevigende laag van gevlochten staaldraad, polyester-, en/of aramidevezels⁽¹⁶⁾. Ter hoogte van het los- of aankoppelpunt op het station is standaard een terugslagklep aanwezig die een terugstroming vanuit de vaste installatie verhindert bij een incident met de trailer of de flexibele slang. In geval van een losoperatie worden de tubes of drukbanken op een trailer één voor één opgelijnd, waarbij het gecompriëerde waterstofgas onder invloed van het drukverschil van de trailer naar de lagedruk opslag stroomt tot de druk in de trailer en de opslag is geëgaliseerd. De inhoud van een tube-trailer of batterijvoertuig kan dus slechts gedeeltelijk worden gelost op het station⁽¹⁷⁾. Wanneer de tube-trailer of het batterijvoertuig wordt aangewend als een verwisselbare lagedruk opslagbuffer, dan worden de tubes of drukbanken doorgaans tegelijk opgelijnd naar de vaste verdeelinstallatie.

⁽¹⁵⁾ Op stations die worden bevoorraad door een kleinschalige productie-eenheid (elektrolyse of stoomreforming), worden tube-trailers ook ingezet als een verwisselbare lagedruk opslagbuffer (back-up) in de periodes dat de productie-eenheid buiten bedrijf is.

⁽¹⁶⁾ De slangen die vervaardigd zijn uit polyamide met een verstevigende laag van gevlochten aramidevezels al dan niet in combinatie met een laag van gevlochten staaldraad hebben een zeer hoge treksterkte en zijn geschikt voor een werkingsdruk tot 500 bar.

⁽¹⁷⁾ De hoeveelheid waterstof die kan worden gelost op het station is afhankelijk van (1) het volume van de lagedruk opslag op het station en (2) de restdruk in de opslag bij aanvang van de losoperatie. Indien de vaste opslag qua waterinhoud ongeveer half zo groot is als de trailer, dan kan typisch 40 tot 50% van de inhoud van de trailer worden gelost op het station. Indien de vaste opslag qua volume veel groter is dan het volume van de H₂-trailer (bv. opslag in een verticale druktank), dan kan typisch 75 tot 85% van de inhoud van de trailer worden gelost op het station.

STANDAARD COMPONENTEN – Er worden dertien standaard componenten gedefinieerd voor de waterstof tube-trailers en batterijvoertuigen die kortstondig of langdurig (als verwisselbare opslag) aanwezig kunnen zijn op een tankstation (zie tabellen II.2.3.1 en II.2.3.2). Het betreffen vijf standaard tube-trailers met een typische vuldruk van 200 bar en acht batterijvoertuigen waarvan vijf met een typische vuldruk van 200 bar en drie met een typische vuldruk van 500 bar. De tube-trailer of het batterijvoertuig staat via een flexibele los- of koppelslang in verbinding met de vaste installaties op het tankstation en worden, eenmaal aangekoppeld, beschermd door de overdrukbeveiliging op het station.

De gemiddelde losduur per transferoperatie is afhankelijk van tal van parameters waaronder de diameter van de flexibele losslang en de omvang van de lagedruk opslagbuffer op het tankstation. Voor een losslang met een interne diameter van 10 mm kan worden uitgegaan van een typische losduur van ca. 1 uur. Het jaarlijks aantal trailersoperaties (lossen of aan- en afkoppelen van een verwisselbare opslag) op het station is afhankelijk van de doorzet van het station en de hoeveelheid waterstof die kan worden getransfereerd per traileroperatie. In onderstaande tabel wordt een indicatieve schatting gegeven van het jaarlijkse aantal operaties, uitgaande van een getransfereerde hoeveelheid van ca. 50% van de trailerinhoud voor losoperaties en ca. 85% van de trailerinhoud voor wisseloperaties.

De effectieve jaarlijkse losduur en de effectieve verblijftijd van de trailers op het station is een variabele parameter die kan worden ingesteld door de gebruiker van de softwaretool ter bepaling van de externe veiligheidsafstanden. Met behulp van de softwaretool kunnen ook risico-afstanden van andere configuraties van batterijvoertuigen of tube-trailers worden bepaald als combinaties van elementen die worden bestudeerd voor een vaste lagedrukbuffer (zie tabel II.2.4.1).

Tabel II.2.3.1: Standaard tube-trailers

Trailer configuratie	Inhoud	Vuldruk	Aansluitdiameter van de elementen	Indicatieve losduur(*)	indicatief # operaties per jaar lossen(*) | verwisselbare opslag
18x 1.220 liter (waterinhoud: 22,0 m ³)	330 kg	200 bar	8 mm	ca. 60 min. per operatie	125 | 75 per jaar (50 kg/dag) 500 | 300 per jaar (200 kg/dag)
16x 1.310 liter (waterinhoud: 21,3 m ³)	315 kg	200 bar	8 mm		
14x 1.370 liter (waterinhoud: 19,2 m ³)	290 kg	200 bar	8 mm		
11x 1.950 liter (waterinhoud: 21,5 m ³)	325 kg	200 bar	8 mm		
9x 2.330 liter (waterinhoud: 21,0 m ³)	315 kg	200 bar	8 mm		

Tabel II.2.3.2: Standaard batterijvoertuigen

Trailer configuratie	Inhoud	Vuldruk	Aansluitdiameter van de elementen	Indicatieve losduur(*)	indicatief # operaties per jaar lossen(*) | verwisselbare opslag
350x 50 liter (waterinhoud: 17,5 m ³)	265 kg	200 bar	5 mm	ca. 60 min.	125 | 75 per jaar (50 kg/dag) 500 | 300 per jaar (200 kg/dag)
295x 85 liter (waterinhoud: 25,1 m ³)	380 kg	200 bar	5 mm		
105x 350 liter (waterinhoud: 36,8 m ³)	555 kg	200 bar	5 mm	ca. 90 min.	65 | 40 per jaar (50 kg/dag) 265 | 155 per jaar (200 kg/dag)
224x 165 liter (waterinhoud: 37 m ³)	560 kg	200 bar	5 mm		
155x 315 liter (waterinhoud: 48,8 m ³)	735 kg	200 bar	5 mm	ca. 120 min.	50 | 30 per jaar (50 kg/dag) 200 | 120 per jaar (200 kg/dag)
105x 350 liter (waterinhoud: 36,8 m ³)	1.140 kg	500 bar	5 mm	ca. 120 min.	35 | 20 per jaar (50 kg/dag) 130 | 75 per jaar (200 kg/dag)
224x 165 liter (waterinhoud: 37,0 m ³)	1.145 kg	500 bar	5 mm		

Trailer configuratie	Inhoud	Vuldruk	Aansluitdiameter van de elementen	Indicatieve losduur(*)	indicatief # operaties per jaar lossen(*) | verwisselbare opslag
155x 315 liter (waterinhoud: 48,8 m ³)	1.510 kg	500 bar	5 mm	ca. 150 min.	25 | 15 per jaar (50 kg/dag) 100 | 60 per jaar (200 kg/dag)

(*) De effectieve losduur wordt mee bepaald door de omvang van de lagedruk opslagbuffer op het station. Er wordt aangenomen dat ca. 50% van de inhoud van het transportvoertuig kan worden getransfereerd in de lagedruk opslagbuffer van het station. Bij kleinere of grotere opslagbuffers zal de losduur evenredig afnemen respectievelijk toenemen. Het aantal transferoperaties zal daarentegen omgekeerd evenredig toe- of afnemen met de omvang van de opslagbuffer.

Op basis van de bekomen informatie worden verder 8 componenten gedefinieerd voor de los- of koppelslangen waarmee de tube-trailers of batterijvoertuigen in verbinding worden gesteld met de vaste installaties op het station (zie tabel II.2.3.2). De belangrijkste specificaties van de standaard slangen worden getoond in onderstaande tabel. De totale jaarlijkse gebruiksduur van de slangen op het station is een variabele parameter die kan worden ingesteld door de gebruiker van de softwaretool ter bepaling van de externe veiligheidsafstanden.

Tabel II.2.3.3: Standaard los- of koppelslangen

Binnendiameter	Maximale werkingsdruk	Veiligheidsmaatregelen
6 mm	200 bar (voor het lossen van tube-trailers en batterijvoertuigen op 200 bar)	standaard: terugslagklep aan zijde station optioneel: doorstroombegrenzer aan zijde trailer
8 mm		
10 mm		
12 mm		
6 mm	500 bar (voor het lossen van batterijvoertuigen op 500 bar)	
8 mm		
10 mm		
12 mm		

II.2.4. Lagedruk opslagbuffer

STAND DER TECHNIEK – Bij een aanlevering van waterstof via een tube-trailer of een batterijvoertuig, wordt het waterstof gelost in een vaste opslagbuffer op het station. Dergelijke vaste opslagbuffer kan bestaan uit (1) een vaste cilindrische druktank met een waterinhoud van 50 tot 100 m³ en een maximale werkingsdruk van 50 bar, (2) een kader drukcilinders met een individueel volume tussen 1.000 en 2.500 liter en een maximale werkingsdruk van 200 bar of (3) meerdere kaders gasflessen met een individueel volume van 50 tot 150 liter en een maximale werkingsdruk van 200 bar.

Een opslagbuffer in de vorm van een vaste cilindrische druktank wordt toegepast op verschillende tankstations in Duitsland en Zwitserland (zie figuren II.2.4.1 en II.2.4.2). De opslagtanks hebben doorgaans een diameter van 2,8 m en een lengte tussen 7,3 m en 19 m (volume: 45 tot 115 m³). Ze worden typisch bedreven op een maximale druk van 45 bar en hebben een opslagcapaciteit van 170 kg (45 m³) tot 440 kg (115 m³). De opslagtanks kunnen bovengronds of ondergronds worden geplaatst. Door de relatief lage druk in de opslag kan een tube-trailer of batterijvoertuig per bezoek meer waterstof lossen op het station.

Figuur II.2.4.1: Voorbeeld van een opslag in de vorm van een bovengrondse druktank op een tankstation in Stuttgart (OMV) en in Gieselwind (TOTAL)



Figuur II.2.4.2: Voorbeeld van een opslag in de vorm van een ondergrondse druktank van 87 m³ op een tankstation in Hunzenschwil (COOP)



Een opslagbuffer in de vorm van kaders met tientallen gasflessen van 50 liter (200 bar) wordt toegepast op het tankstation van Air liquide in Zaventem (zie figuur II.2.4.3).

Figuur II.2.4.3: Voorbeeld van een opslag in de vorm van verschillende kaders met gasflessen



Een opslag van waterstof in enkele druktankers van meer dan 1.000 liter (200 bar) wordt toegepast op verschillende Total tankstations in Duitsland (o.a. in de Heidestrasse en

Jaffestrasse in Berlijn, in de Helmholtzstrasse in Ulm en in de Ohmstrasse in Fellbach). De diameter van de maximale aansluiting op de cilinders bedraagt typisch 8 mm.

Figuur II.2.4.3: Voorbeeld van een opslag in de vorm van enkele drukcilinders met een volume van meer dan 1.000 liter



STANDAARD COMPONENTEN – Gelet op bovenstaande beschouwingen worden 27 standaard elementen (druktanks, gasflessen en cilinders) gedefinieerd die aangewend kunnen worden als een onderdeel van een lagedruk opslagbuffer op een waterstoftankstation (zie tabel II.2.4.1). De elementen hebben een maximale werkingsdruk van 200 bar en zijn alle voorzien van een adequate overdrukbeveiliging die kan bestaan uit een veerbelast overdrukventiel of uit een smeltbare plug. Het aantal elementen waaruit de lagedruk opslag is opgebouwd is een variabele parameter die kan worden ingesteld door de gebruiker van de softwaretool ter bepaling van de externe veiligheidsafstanden.

Tabel II.2.4.1: Standaard componenten in een lagedruk opslag

Type element	Max. aansluitdiameter	Max. vuldruk(**)	Inhoud
Bovengrondse druktank van 50, 75, 100, 125 en 150 m ³	50 mm (*)	50 bar	210 - 630 kg
Ondergrondse druktank van 50, 75, 100, 125 en 150 m ³	50 mm (*)	50 bar	210 - 630 kg
Gasflessen van 50, 80 en 150 liter	5 mm	200 bar	0,75 – 2,3 kg per fles
Cilinders van 200, 250, 300, ..., 700 en 750 liter	5 mm	200 bar	6,4 – 23,9 kg per cilinder
Cilinders (tubes) van 1.100, 1.300, ..., 2.300 en 2.500 liter	8 mm	200 bar	16,7 – 38 kg per cilinder

(*) Deze maximale aansluitdiameter is niet bepalend voor het risico dat uitgaat van de tank omdat deze groter is dan de diameter die aanleiding geeft tot een uitstroming in 10 minuten ($D_{10} = 11,8$ mm voor een 50 m³ tank, $D_{10} = 16,7$ mm voor een 100 m³ tank).

(**) De elementen worden alle beschermd door een overdrukbeveiliging ingesteld op een druk van respectievelijk 50 en 200 bar.

II.2.5. Compressoren

STAND DER TECHNIEK – De noodzaak tot een bijkomende compressie van waterstof op het station is afhankelijk van de druk waarop het waterstof wordt aangevoerd of geproduceerd en van de gewenste afleverdruk op het station (350 en/of 700 bar).

Met betrekking tot de compressoren die voorkomen op een waterstoftankstation wordt over het algemeen een onderscheid gemaakt tussen meertrapscompressoren met een beperkte inlaatdruk (10 - 50 bar) en een beperkte capaciteit (10 – 200 Nm³/h) die worden gebruikt om een midden- of hogedrukbuffer aan te vullen en eenvoudige boostercompressoren met een hoge inlaatdruk (100 – 400 bar) en een hoge capaciteit (200 – 500 Nm³/h) die worden aangewend tijdens het tanken van voertuigen.

De middendruk compressor op een tankstation wordt meestal uitgevoerd als een meertrapscompressor in combinatie met een grote middendruk buffer die is opgedeeld in meerdere banken en van waaruit de effectieve aflevering op 350 bar kan plaatsvinden (zgn.

cascade vulling). In combinatie met een middendruk compressor wordt de hogedruk compressor dikwijls uitgevoerd als een boostercompressor gevolgd door een hogedruk buffer met een eerder beperkte capaciteit. Indien slechts één compressor wordt voorzien op het tankstation dan betreft het doorgaans een hybride compressor die de voordelen van een meertrapscompressor (geschikt voor lage inlaatdrukken) en een boostercompressor (een hogere compressorcapaciteit bij een hoge inlaatdruk) combineert^(18,19).

Op waterstoftankstations wordt hoofdzakelijk gebruikgemaakt van drooglopende zuigercompressoren (bv. Hofer TKH-series of Hydro-Pac LX-series), diafragma- of membraancompressoren (bv. PDC Machines) of ionische compressoren⁽²⁰⁾ (bv. Linde IC45 en IC90).

De compressoren worden standaard uitgerust met een terugslagklep in de persleiding en worden beschermd opgesteld in een afgesloten ruimte (container) die voorzien is van voldoende passieve of actieve ventilatie en gasdetectoren die bij detectie van waterstof in de ruimte automatisch het noodstopsysteem activeren.

STANDAARD COMPONENTEN – Doordat de compressoren over het algemeen in een besloten ruimte worden geplaatst, vormt het optreden van een gasexplosie in de compressorruimte na een vrijzetting van waterstof in de ruimte het belangrijkste risico dat uitgaat van een compressor.

In geval van een beperkte accidentele vrijzetting van waterstof in de compressorruimte (≤ 20 g/s) zal het waterstof door zijn zeer lage dichtheid opstijgen in de goed geventileerde ruimte en aldaar via de aanwezige ventilatieopeningen ontsnappen. Indien de automatische aansturing van het noodstopsysteem via de aanwezige gasdetectie in de container niet correct functioneert, dan is het mogelijk dat na enige tijd een beperkte explosieve atmosfeer wordt gevormd in het bovenste deel⁽²¹⁾ van de besloten ruimte. In geval van een omvangrijke vrijzetting van waterstof op hoge druk (> 1 kg/s) kan door de hoge turbulentie die gepaard gaat met de vrijzetting in een zeer korte tijdspanne een explosieve atmosfeer worden gevormd in de volledige compressorruimte. Een ontsteking van het waterstof/luchtmengsel in de ruimte resulteert onder de gegeven omstandigheden in een gasexplosie waarvan de effecten hoofdzakelijk bepaald worden door de omvang en de uitvoering⁽²²⁾ van de compressorruimte.

Gelet op bovenstaande beschouwingen en de generieke vrijzettingsscenario's die voor compressoren worden weerhouden in de kwantitatieve risicoanalyse (zie § III.2.1.1.3), worden acht standaard elementen gedefinieerd voor compressoren die worden gebruikt op een waterstoftankstation (zie tabel II.2.5.1). De jaarlijkse gebruiksduur van de compressoren op het station bepaalt mee de kans op een accidentele vrijzetting en kan apart worden ingesteld door de gebruiker van de softwaretool ter bepaling van de externe veiligheidsafstanden.

⁽¹⁸⁾ Een voorbeeld van dergelijke hybride compressor is de IC90 ionische vijftrapscompressor van Linde, die o.a. wordt aangewend op meerdere waterstoftankstations in Californië en Duitsland (o.a. op het tankstation van TOTAL in Berlijn en Hamburg).

⁽¹⁹⁾ Indien waterstof wordt aangevoerd en opgeslagen op het tankstation op een hoge druk (200 – 500 bar), kan het gebruik van één enkele boostercompressor op het station volstaan.

⁽²⁰⁾ Ionische compressoren zijn compressoren waarbij het kruk-drijfstaang mechanisme is vervangen door een ionische vloeistof. Ze maken gebruik van het feit dat de oplosbaarheid van waterstof in ionische vloeistoffen zeer laag is en dat ionische vloeistoffen een zeer lage dampdruk hebben over een groot temperatuurbereik en daardoor nagenoeg onsamendrukbaar zijn. Door het gebruik van deze techniek wordt het aantal bewegende onderdelen in de compressor sterk gereduceerd (van ca. 500 in een conventionele zuigercompressor tot 8 in een ionische compressor).

⁽²¹⁾ De exacte omvang van de explosieve laag die zich kan vormen in de compressorruimte bij een beperkte vrijzetting is moeilijk in te schatten omdat deze functie is van verschillende parameters waaronder het vrijzettingsdebiet, het volume van de ruimte, de ventilatiegraad en de positie van de ventilatieopeningen. In onderhavige studie zal de omvang van de explosieve laag arbitrair worden ingeschat op basis van het totale volume van de compressorruimte (zie § III.2.1.1.3).

⁽²²⁾ Al dan niet voorzien van een adequaat explosiedrukontlastingssysteem (explosieluiken).

Tabel II.2.5.1: Standaard compressoren

Omvang van de compressorruimte	Max. omvang v/d zone met explosieve atmosfeer ^(*)	Veiligheidsmaatregelen
10 ft compressorcontainer	10,7 m ³ (2/3 van 16 m ³)	standaard: voldoende ventilatie, gasdetectie + autom. noodstop optioneel: explosieluiken
20 ft compressorcontainer	22 m ³ (2/3 van 33 m ³)	standaard: voldoende ventilatie, gasdetectie + autom. noodstop optioneel: explosieluiken
30 ft compressorcontainer	33,3 m ³ (2/3 van 50 m ³)	standaard: voldoende ventilatie, gasdetectie + autom. noodstop optioneel: explosieluiken
40 ft compressorcontainer	44 m ³ (2/3 van 66 m ³)	standaard: voldoende ventilatie, gasdetectie + autom. noodstop optioneel: explosieluiken

^(*) Er wordt aangenomen dat 1/3 van het containervolume wordt ingenomen door de aanwezige installaties in de container.

II.2.6. Middendruk en hogedruk buffer

STAND DER TECHNIEK – Om de duur van een tankbeurt tot een aanvaardbaar niveau te beperken wordt waterstof op het tankstation doorgaans opgeslagen in een middendruk buffer (450 bar) en/of hogedruk buffer (900 à 950 bar). Een middendruk buffer is over het algemeen opgebouwd uit stalen of composieten gasflessen (50 – 150 liter) of drukcilinders (200 – 2.500 liter) die onderling zijn verbonden en mogelijk opgedeeld zijn in een aantal gescheiden banken. Een hogedruk buffer is meestal opgebouwd uit composieten gasflessen of cilinders met een kleiner individueel volume.

Volgende configuraties van middendruk buffers komen voor op bestaande waterstoftankstations:

- ❑ 16 stalen gasflessen van 50 liter (tankstation Zaventem)
- ❑ 2 stalen cilinders van 1.000 liter (tankstation Rhooen)
- ❑ 48 stalen flessen van 50 liter en 9 composieten cilinders van 530 liter (tankstation Helmond)
- ❑ 24 cilinders van 250 liter (tankstation Berlin Holzmarktstrasse)
- ❑ 8 stalen cilinders van 1.500 liter (tankstation Hamburg Hochbahn)
- ❑ 8 composieten cilinders van 530 liter (tankstation Aberdeen)
- ❑ 218 gasflessen van 50 liter (mobiel tankstation Linde)
- ❑ 48 gasflessen van 50 liter (concept tankstation CEP)

Figuur II.2.6.1: Voorbeeld van de middendruk bufferopslag op het tankstation van te Rhooen



Volgende configuraties van hogedruk buffers komen voor op bestaande waterstoftankstations:

- ❑ 16 composieten gasflessen van 50 liter (tankstation Zaventem)
- ❑ 16 composieten gasflessen van 50 liter (tankstation Rhoon)
- ❑ 4 composieten cilinders van 254 liter (tankstation Helmond)
- ❑ 4 composieten cilinders van 254 liter (tankstation Aberdeen)
- ❑ 2 cilinders van 250 liter (tankstation Berlin Holzmarktstrasse)
- ❑ 120 composieten gasflessen van 50 liter (tankstation Hamburg Hafencity)
- ❑ 1 gasfles van 50 liter (concept tankstation CEP)

Composieten gasflessen en cilinders met een maximale werkingsdruk tussen 300 en 500 bar worden o.a. geproduceerd door Luxfer/Dynetek (30 tot 322 liter), Lincoln/Hexagon (347 en 530 liter), Mahytec (300 liter), Quantum Fuel Services (445 en 650 liter) en Faber (50 tot 113 liter). Composieten gasflessen en cilinders met een maximale werkingsdruk van 700 tot 1000 bar worden o.a. geproduceerd door Lincoln/Hexagon (254 liter), Faber (50 liter) en Stella Composites (143 en 300 liter).

STANDAARD COMPONENTEN – Gelet op bovenstaande beschouwingen worden 19 standaard componenten gedefinieerd die aangewend kunnen worden als een onderdeel van een middendruk buffer en 15 standaard componenten die aangewend kunnen worden als een onderdeel van een hogedruk buffer op een waterstoftankstation (zie tabellen II.2.6.1 en II.2.6.2). Conservatief wordt uitgegaan van een maximale druk van 500 en 1.000 bar in respectievelijk de middendruk en de hogedruk buffer. Het aantal elementen waaruit de middendruk en hogedruk buffers zijn opgebouwd is een variabele parameter die kan worden ingesteld door de gebruiker van de softwaretool ter bepaling van de externe veiligheidsafstanden.

Tabel II.2.6.1: Standaard componenten in een middendruk buffer (max. 500 bar)

Type element	Max. aansluitdiameter	Max. capaciteit
Gasfles van 50, 80 en 150 liter	5 mm	1,6 -4,8 kg per fles
Cilinder van 200, 250, 300, ..., 700 en 750 liter	5 mm	6,4 – 23,9 kg per cilinder
Cilinder (tube) van 1.000, 1.500, 2.000 en 2.500 liter	8 mm	31,8 – 79,6 kg per cilinder

Tabel II.2.6.2: Standaard componenten in een hogedruk buffer (max. 1.000 bar)

Type element	Max. aansluitdiameter	Max. capaciteit
Gasfles van 50, 80 en 150 liter	5 mm	2,4 -7,2 kg per fles
Cilinder van 200, 250, 300, ..., 700 en 750 liter	5 mm	9,5 – 35,8 kg per cilinder

II.2.7. Verbindingsleidingen

STAND DER TECHNIEK – De verschillende installatie-onderdelen op een waterstoftankstation staan met elkaar in verbinding via vaste bovengrondse leidingen met een interne diameter van 6 mm tot 20 mm. In het lagedruk gedeelte van de installatie (≤ 200 bar) worden typisch leidingen aangewend met een diameter van 10 tot 20 mm. In het middendruk gedeelte van de installatie (200 – 500 bar) hebben de leidingen doorgaans een diameter van 6 tot 12 mm, terwijl in het hogedruk gedeelte van de installatie enkel leidingen met een diameter kleiner of gelijk aan 10 mm worden toegepast.

STANDAARD COMPONENTEN – Voor de verschillende drukniveaus die voorkomen op een waterstoftankstation worden telkens 3 à 4 standaard verbindingsleidingen gedefinieerd met

een verschillende leidingdiameter (zie tabel II.2.7.1). Het betreffen bovengrondse leidingsegmenten met een standaardlengte⁽²³⁾ van 5 m.

Tabel II.2.7.1: Standaard componenten voor de verbindingsleidingen

Maximale druk	Binnendiameter	Veiligheidsmaatregelen
30 bar	12 mm	standaard: terugslagklep aan het einde van de leiding
	16 mm	
	20 mm	
200 bar	12 mm	
	16 mm	
	20 mm	
500 bar	6 mm	
	8 mm	
	10 mm	
	12 mm	
1.000 bar	6 mm	
	8 mm	
	10 mm	

II.2.8. Koelunit voor het afleveren van waterstof op 700 bar

STAND DER TECHNIEK – Omdat waterstof opwarmt tijdens het expanderen (omgekeerd Joule-Thomson effect) dient het waterstof tijdens het snel vullen van voertuigen vanuit een hogedruk opslagbuffer gekoeld te worden om de maximaal toegelaten temperatuur van 85°C in de brandstoftank van het voertuig niet te overschrijden. De benodigde koeling is afhankelijk van de afleverdruk (350 of 700 bar) en de beoogde vulsnelheid en bedraagt maximaal -40°C.

Voor de gaskoelers die worden aangewend op een waterstoftankstation bestaan er verschillende concepten, gaande van een coaxiale buis (spiraal) waarbij gasvormig waterstof in tegenstroom met een koelmiddel doorheen een lange spiraal stroomt, een pijpenwarmtewisselaar waarbij het waterstof op hoge druk doorheen de pijpen en het koelmiddel doorheen de mantel stroomt tot een compacte warmtewisselaar met microkanalen die kan worden ingebouwd in de afleverzuil. Platenwarmtewisselaars zijn niet geschikt voor de gegeven toepassing omwille van de zeer hoge druk waarmee het waterstof doorheen de gaskoeler stroomt.

STANDAARD COMPONENTEN – De gaskoeler die aanwezig is op een waterstoftankstation wordt doorgaans niet weerhouden in de kwantitatieve risicoanalyse van het tankstation [2-5]. De reden hiervoor is dat dergelijke gaskoelers doorgaans worden gekenmerkt door pijpen of kanalen met een zeer kleine diameter, waardoor het vrijzettingsdebiet dat wordt berekend voor het representatieve scenario van een pijpbreuk als verwaarloosbaar wordt beschouwd.

⁽²³⁾ De aanwezigheid van langere leidingsegmenten kan in rekening worden gebracht in de softwaretool voor het bepalen van externe veiligheidsafstanden, door het aantal elementen (leidingsegmenten) te verhogen..

In onderhavige studie wordt het risico van een gaskoeler bepaald, uitgaande van een coaxiale buiswarmtewisselaar of pijpenwarmtewisselaar met een interne buis- of pijpdiameter 6 mm⁽²⁴⁾ en een totale buis- of pijplengte van 10 m.

II.2.9. Verdeelzuilen op 350 en 700 bar

STAND DER TECHNIEK – Via de aanwezige verdeelzuilen op het tankstation wordt het waterstof afgeleverd aan de voertuigen op een druk van maximaal 350 bar (bussen, vrachtwagens en kleine personenwagens) en/of 700 bar (personenwagens).

Een verdeelzuil bevat verschillende componenten waaronder een flexibele vulslang, een noodbreekkoppeling (*break-away*), een vulpistool (met of zonder communicatie), een geautomatiseerde debietsregeling, een debietsmeter, druk- en temperatuursensoren en een overdrukbeveiliging. De geautomatiseerde debietsregeling volgt een voorgeschreven tankprotocol (SAE J2601 en J-2601-2) waarbij de drukstijgsnelheid wordt aangepast in functie van de omgevingstemperatuur, de druk en de temperatuur van het waterstof in de verdeelzuil en de druk en de temperatuur van het waterstof in de brandstoftank van het voertuig. Bij een te hoog transferdebiet, een te hoge druk in de brandstoftank van het voertuig of afwijkende⁽²⁵⁾ meetwaarden van de druk en de temperatuur wordt de transferoperatie onmiddellijk afgebroken. Het maximale transferdebiet is beperkt tot 60 g/s voor personenwagens en 120 g/s voor bussen of vrachtwagens.

Voor aflevering van waterstof op 350 of 700 bar aan personenwagens wordt o.a. het TK17 vulpistool van WEH gebruikt met een inwendige doorsnede van 4 mm in combinatie met een vulslang met een inwendige doorsnede van ca. 6 mm. Voor aflevering van waterstof op 350 bar aan bussen en vrachtwagens wordt o.a. het TK16 of TK25 vulpistool van WEH gebruikt met een inwendige doorsnede van respectievelijk 8 en 12 mm in combinatie met een vulslang met een inwendige diameter van ca. 6 mm.

STANDAARD COMPONENTEN – De enige component van een afleverzuil die wordt meegenomen in een QRA is de vulslang. Standaard heeft deze vulslang een interne diameter van 6 mm. Omdat in sommige veiligheidsstudies sprake is van vulslangen met een grotere diameter (8 tot 12 mm), worden in deze studie berekeningen uitgevoerd voor standaard vulslangen met een diameter van 6 tot 10 mm voor de aflevering van waterstof op 700 bar en een diameter van 6 tot 12 mm voor de aflevering van waterstof op 350 bar (zie tabel II.2.9.1).

De verdeelzuil is voorzien van een debietsmeter met doorstroombegrenzer. Bij detectie van een abnormaal hoog transferdebiet of in geval van een abnormaal lage druk in de verdeelzuil wordt de vulling automatisch gestopt. De reactietijd van het debietregelsysteem wordt geraamd op 1 seconde. De gebruiksduur van de vulslang kan worden ingeschat op basis van een gemiddeld afleverdebiet van 0,5 tot 1 kg/min voor personenwagens en 3,5 kg/min voor bussen of vrachtwagens.

Tabel II.2.9.1: Standaard vul- en koppelslangen

Binnendiameter	Maximale afleverdruk	Veiligheidsmaatregelen
6 mm	350 bar	standaard: doorstroombegrenzer in de verdeelzuil
8 mm		
10 mm		
12 mm		

⁽²⁴⁾ De interne pijpdiameter van de gaskoeler wordt arbitrair gelijk gesteld aan de leidingdiameter die doorgaans wordt toegepast in het hogedruk gedeelte van het waterstoftankstation.

⁽²⁵⁾ Met afwijkende meetwaarden worden meetwaarden bedoeld die buiten het toepassingsgebied van het tankprotocol vallen.

Binnendiameter	Maximale afleverdruk	Veiligheidsmaatregelen
6 mm	700 bar	
8 mm		
10 mm		

Leeg blad

III. KWANTITATIEVE RISICOANALYSE

In dit hoofdstuk worden de individuele installatieonderdelen of componenten van waterstof-tankstations onderworpen aan een kwantitatieve risicoanalyse. Eerst wordt de kwantitatieve risicoanalysemethodiek toegelicht (§ III.1). Daarna wordt een overzicht gegeven van de representatieve ongevalscenario's die voor de verschillende componenten worden beschouwd, tezamen met de bijhorende ongevalfrequenties en gevolgen van deze ongevallen (§ III.2). Tenslotte wordt toegelicht hoe het berekende mensrisico in de vorm van isorisico-contouren voor het plaatsgebonden mensrisico en in de vorm van een FN-curve voor het groepsrisico kan worden aangewend voor het bepalen van externe scheidingsafstanden en voor het ontwikkelen van een eenvoudige evaluatiemethode van het groepsrisico (§ III.3).

III.1. Methodiek

III.1.1. Achtergrond

In Vlaanderen worden de externe mensrisico's die uitgaan van installaties en activiteiten waarbij gevaarlijke stoffen betrokken zijn in het kader van de veiligheidsrapportage (Seveso III-richtlijn) bepaald middels een kwantitatieve risicoanalyse (QRA). Het risico voor externe personen wordt daarbij op twee karakteristieke manieren voorgesteld, m.n. als een plaatsgebonden mensrisico en als een groepsrisico.

Het plaatsgebonden mensrisico geeft aan in hoeverre het risico voor doding van één persoon zich uitstrekt in de omgeving van de bestudeerde installatie of activiteit en kan worden berekend zonder voorkennis van de externe omgeving. Het groepsrisico daarentegen is een maat voor de omvang van de populatie die door een dodelijk ongeval getroffen kan worden. Het groepsrisico kan slechts worden bepaald indien vooraf een inschatting wordt gemaakt van de aanwezige populatie in de omgeving van de bestudeerde installatie of activiteit.

III.1.2. Deelstappen

De kwantitatieve risicoanalyse (QRA) is een methodiek die toelaat om risico's te analyseren en te evalueren op basis van numerieke waarden. Het voordeel van de methodiek is dat het risico op een systematische en uniforme wijze wordt bepaald waardoor een goed inzicht wordt bekomen in de bijdrage van de verschillende installaties en ongevalscenario's tot het globale risico. Een nadeel is dat de methodiek veel tijd, middelen en expertise vereist.

De methodiek omvat doorgaans de volgende deelstappen die schematisch worden weergegeven in figuur III.1.1:

1. IDENTIFICATIE VAN ZWARE ONGEVALLLEN

Voor de individuele componenten, worden een aantal representatieve ongevalscenario's vastgelegd. Deze ongevalscenario's worden ontwikkeld op basis van generieke faalwijzen en potentiële vervolgsenario's.

2. BEPALEN VAN DE GEVOLGEN VAN DE ONGEVALLLEN

De mogelijke effecten van de representatieve ongevalscenario's worden vervolgens berekend. De effecten van een ongeval worden uitgedrukt als een kans op doding van personen in de omgeving. Een ongeval wordt in aanmerking genomen

voor de verdere risicoberekening indien het effect eruit bestaat dat de verwachte letale respons van personen minstens 1% bedraagt.

3. BEPALEN VAN DE ONGEVALFREQUENTIES

De kansen op optreden van de ongevallen worden bepaald. In een analyse die wordt uitgevoerd in het kader van een vergunningsaanvraag in Vlaanderen wordt gebruikgemaakt van generieke faalfrequenties en vervolgschansen die zijn opgenomen in het Handboek Risicoberekeningen van de Vlaamse overheid [6].

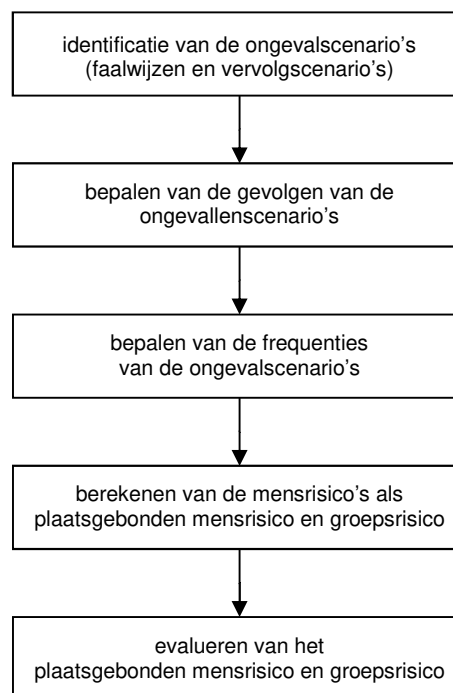
4. BEREKENEN VAN HET MENS-RISICO

Uitgaande van de berekende effecten en frequenties worden de mensrisico's die uitgaan van de bestudeerde ongevalsscenario's berekend.

5. EVALUATIE VAN HET MENS-RISICO

Het totale mensrisico van alle ongevalsscenario's wordt voorgesteld als een plaatsgebonden mensrisico en als een groepsrisico en getoetst aan de betreffende risicocriteria.

Figuur III.1.1: Schematische weergave van de verschillende stappen die doorlopen worden in een kwantitatieve risicoanalyse



De kwantitatieve risicoanalyse wordt uitgevoerd in overeenstemming met de richtlijnen die door de bevoegde Vlaamse overheidsdienst inzake kwantitatieve risicoanalyse voor Seveso-inrichtingen worden voorgeschreven⁽²⁶⁾.

III.1.3. Evaluatiebasis

RISICOCRITERIA VOOR SEVESO-INRICHTINGEN – De risicocriteria die in Vlaanderen worden gehanteerd voor de beoordeling van het plaatsgebonden mensrisico van Seveso-

⁽²⁶⁾ Bij het uitvoeren van de kwantitatieve risicoanalyse en de opmaak van dit rapport zijn de rekenvoorschriften uit het Handboek Risicoberekeningen (versie van 1/8/2017) in acht genomen. Indien bij het uitvoeren van de berekeningen werd afgeweken van deze rekenvoorschriften, wordt dit expliciet vermeld in onderhavige hoofdstuk.

inrichtingen worden weergegeven in tabel III.1.1. Ter hoogte van de eigen grens van de inrichting bedraagt het maximaal toegelaten plaatsgebonden mensrisico $10^{-5}/j$. Op de grens van een gebied met woonfunctie of een gebied met een kwetsbare locatie bedraagt het maximaal toegelaten mensrisico respectievelijk $10^{-6}/j$ en $10^{-7}/j$ [7].

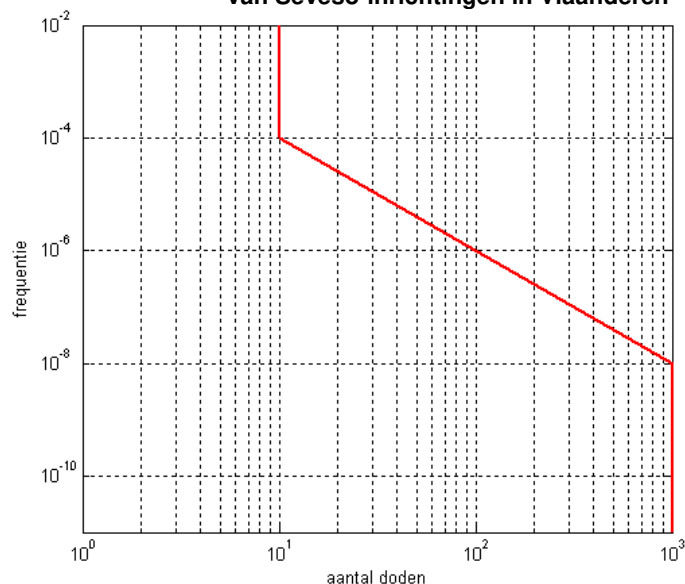
Als gebied met woonfunctie worden enerzijds gebieden bedoeld die op het gewestplan of eventueel ruimtelijke uitvoeringsplannen die van toepassing zijn, worden aangegeven als woonzone en anderzijds groepen van minimum vijf bestaande zonevreemde woningen (wooneenheden). Gebieden met kwetsbare locaties betreffen percelen waarop scholen, ziekenhuizen en rust- of verzorgingsinstellingen gelegen zijn.

Tabel III.1.1 Gehanteerde risicocriteria voor het plaatsgebonden mensrisico van Seveso-inrichtingen in Vlaanderen

Toetsing aan locatie	IRC
Grens van de inrichting	$10^{-5}/j$
Gebied met woonfunctie	$10^{-6}/j$
Gebied met kwetsbare locatie	$10^{-7}/j$

Het criterium dat in Vlaanderen wordt gehanteerd voor de beoordeling van het groepsrisico van Seveso-inrichtingen wordt getoond op figuur III.1.2. Een groepsrisico dat beneden de rode lijn gelegen is, wordt als aanvaardbaar beschouwd.

Figuur III.1.2: Gehanteerde risicocriteria voor het groepsrisico van Seveso-inrichtingen in Vlaanderen



Er wordt opgemerkt dat de criteria voor het extern mensrisico geen bindende, wettelijke normen zijn, maar fungeren als een toetsingskader voor de beoordeling van de externe mensrisico's van Seveso-inrichtingen [7].

RISICOCRITERIA VOOR LPG- EN CNG-TANKSTATIONS – Hoewel de totale hoeveelheden aan gevaarlijke stoffen op LPG- en CNG-tankstations doorgaans ruim onder de Seveso-drempelwaarden zijn gelegen⁽²⁷⁾, wordt het extern mensrisico van dergelijke tankstations op een gelijkaardige wijze bepaald en geëvalueerd.

Omdat LPG- en CNG-tankstations in Vlaanderen in de regel in gebieden voor ambachtelijke bedrijven en KMO's of woongebieden gelegen zijn, werd het risicocriterium voor een

⁽²⁷⁾ Een inrichting waarbinnen meer dan 50 of 200 ton LPG of aardgas aanwezig kan zijn, wordt respectievelijk beschouwd als een lagedrempel Seveso-inrichting of hogedrempel Seveso-inrichting.

plaatsgebonden mensrisico van $10^{-6}/j$ wel aangepast. Enerzijds mogen binnen de risicocontour van $10^{-6}/j$ geen bestaande woningen of potentieel te bouwen woningen gelegen zijn. Anderzijds mag de risicocontour van $10^{-6}/j$ geen gebouwen met regelmatige bezetting door personen omsluiten⁽²⁸⁾.

Voor LPG-tankstations die beantwoorden aan de standaardcriteria en minimale technische eisen zijn concrete veiligheidsafstandsregels opgenomen in art. 5.16.4.4.11 en 5.16.6 van Vlarem II. Voor dergelijke LPG-tankstations werd eveneens een eenvoudige evaluatiemethode voor het groepsrisico ontwikkeld, die wordt beschreven in addendum R16.4 van een omgevingsvergunningsaanvraag. Voor CNG-tankstations die bevoorrad worden vanuit het openbaar aardgasnet zijn gelijkaardige veiligheidsafstandsregels van kracht, die zijn opgenomen in art. 5.16.8.5 van Vlarem II. Het groepsrisico dat uitgaat van CNG-tankstations wordt als voldoende laag ingeschat, zodat hiervoor geen aparte evaluatie dient te gebeuren.

RISICOCRITERIA VOOR WATERSTOFTANKSTATIONS – Aangezien waterstoftankstations in de regel niet vallen onder het toepassingsgebied van de Seveso III-richtlijn^(29,30) en dergelijke stations normaliter ook ontwikkeld zullen worden in gebieden voor ambachtelijke bedrijven en KMO's of woongebieden, valt het te verwachten dat de risicocriteria die heden in Vlaanderen worden toegepast voor LPG- en CNG-tankstations ook zullen worden aangewend voor de evaluatie van het extern mensrisico dat uitgaat van waterstoftankstations (voor zover deze niet in industriegebied gelegen zijn).

EXTERNE SCHEIDINGSAFSTANDEN – Op basis van de kwantitatieve risicoanalyse (QRA) worden in onderhavige studie de maximale afstanden bepaald tot waarop een plaatsgebonden mensrisico van respectievelijk $10^{-5}/j$, $10^{-6}/j$ en $10^{-7}/j$ wordt bereikt (zie hfst. IV). De maximale risicoafstanden worden zowel berekend voor de individuele componenten van een standaard waterstoftankstation als voor het volledige station. De berekende maximale risicoafstanden kunnen worden opgenomen in de milieuwetgeving als externe scheidingsafstanden die gerespecteerd dienen te worden tot de eigen terreinsgrens (risicoafstand $10^{-5}/j$)⁽³¹⁾, gebieden met woonfunctie of bestaande woningen of potentieel te bouwen woningen en gebouwen met regelmatige bezetting door personen (risicoafstand $10^{-6}/j$) en kwetsbare locaties (risicoafstand $10^{-7}/j$).

EVALUATIEMETHODE GROEPSRISICO – Het criterium dat wordt gehanteerd voor de evaluatie van het groepsrisico van Seveso-bedrijven (zie figuur III.1.2) kan eveneens worden aangewend als evaluatiebasis voor het groepsrisico van waterstoftankstations. Aan de hand van een kwantitatieve risicoanalyse worden de bijdragen van de individuele componenten en ongevalsscenario's tot het groepsrisico van standaard waterstoftankstations onderzocht. Op basis van de resultaten van deze analyse worden vervolgens voorwaarden gedefinieerd met betrekking tot de aanwezigheid van personen in de omgeving van een station die ertoe leiden dat het resulterende groepsrisico voldoet aan het betreffende risicocriterium (zie hfst. VI).

⁽²⁸⁾ Er wordt opgemerkt dat woningen of gebouwen die behoren tot de te vergunnen inrichting volgens de Vlaamse milieuwetgeving niet onder dit criterium vallen.

⁽²⁹⁾ Een inrichting waarbinnen meer dan 5 of 50 ton waterstof aanwezig kan zijn, wordt respectievelijk beschouwd als een lagedrempel Seveso-inrichting of hogedrempel Seveso-inrichting.

⁽³⁰⁾ De in voorliggend rapport bestudeerde standaard waterstoftankstations worden steeds gekenmerkt door een aanwezigheid van minder dan 5 ton waterstof.

⁽³¹⁾ De isorisicocontour van $10^{-5}/j$ moet in principe binnen het eigen terrein van de inrichting gelegen zijn. Een overschrijding van dit risicocriterium wordt echter niet als problematisch aanzien voor zover er geen personen frequent aanwezig zijn in de zone van overschrijding.

III.2. Uitwerking van de kwantitatieve risicoanalyse

Installaties waarin gevaarlijke stoffen aanwezig zijn, kunnen op verschillende manieren falen waarbij de ernst van het ongeval in hoge mate wordt bepaald door de omvang van de vrijzetting (hoeveelheid vrijgezette stof) en de snelheid waarmee de stof vrijkomt.

De effectieve gevolgen van een vrijzetting worden verder bepaald door het al dan niet optreden van bepaalde vervolgebeurtenissen (o.a. een directe of uitgestelde ontsteking) en door de aard van de omgeving waarin het ongeval zich ontwikkelt (o.a. in een open omgeving of in een besloten omgeving of ruimte).

De frequentie van optreden van een ongeval is doorgaans omgekeerd evenredig met de ernst van het ongeval. De ongevalfrequenties worden in het algemeen bepaald op basis van ongevalcasuïstieken of – indien deze ontoereikend zijn – een expert judgement.

III.2.1. Representatieve ongevalsscenario's

Voor de verschillende componenten die worden onderworpen aan een kwantitatieve risicoanalyse, worden representatieve ongevalsscenario's ontwikkeld uitgaande van een set generieke faalwijzen (§ III.2.1.1) en potentiële vervolgsenario's (§ III.2.1.2). Bij de ontwikkeling van de ongevalsscenario's worden eveneens de frequenties van voorkomen besproken. Een ongevalfrequentie wordt daarbij bekomen als het product van een faalfrequentie en een vervolgkans. Tot slot wordt verduidelijkt hoe de potentiële gevolgen of effecten van de ontwikkelde ongevalsscenario's worden bepaald (§ III.2.2).

III.2.1.1. Faalwijzen (vrijzettingsscenario's)

In de onderstaande paragrafen worden de faalwijzen of zgn. vrijzettingsscenario's toegelicht voor de verschillende componenten die op een waterstoftankstation aanwezig kunnen zijn. Het betreffen zowel individuele componenten waarvoor specifieke faalwijzen (en faalfrequenties) worden voorgeschreven in het Handboek Risicoberekeningen als groepen van componenten die behoren tot eenzelfde insluitsysteem⁽³²⁾ en waarvoor de ongevalsscenario's worden ontwikkeld op het niveau van het insluitsysteem.

Individuele componenten die kunnen voorkomen op een waterstoftankstation zijn vaste bovengrondse of ondergrondse druktanks, gasflessen en cilinders, compressoren, flexibele slangen, transport- of verbindingleidingen en warmtewisselaars (gaskoelers). Groepen van componenten die behoren tot een meer complex insluitsysteem en die worden geanalyseerd op het niveau van het insluitsysteem zijn lokale productie-eenheden, zoals elektrolyse-modules en stoomreformer-modules.

III.2.1.1.1. Waterstoftransportleidingen

GENERIEKE FAALWIJZEN – Voor ondergrondse leidingsecties worden drie faalwijzen weerhouden in de QRA, nl. een breuk, een gat en een barst in de leiding waarbij de equivalente lekdiameters van een gat en een barst gelijkgesteld worden aan respectievelijk 50% van de leidingdiameter en 10 mm. Voor bovengrondse leidingsecties worden vier faalwijzen weer-

⁽³²⁾ Een insluitsysteem wordt omschreven als een of meerdere installatie-onderdelen, die blijvend met elkaar in open verbinding staan en die zijn bestemd om één of meerdere stoffen te omsluiten. Hierbij is het essentieel dat een incidentele vrijzetting (loss of containment) in één insluitsysteem niet leidt tot het vrijkomen van significante hoeveelheden gevaarlijke stof uit andere insluitsystemen.

houden nl. een breuk, een groot lek, een middelgroot lek en een klein lek waarbij de lekdiameters respectievelijk worden gelijkgesteld aan 36%, 15% en 10% van de leidingdiameter.

FAALFREQUENTIES – De generieke faalfrequenties die worden toegepast voor ondergrondse en bovengrondse leidingen zijn deze die zijn opgenomen in module 9 van het Handboek Risicoberekeningen [6]. Ze worden weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel III.2.1.1: Generieke faalfrequenties voor ondergrondse en bovengrondse secties van een waterstoftransportleiding

Component	Generieke faalwijzen	Generieke faalfrequenties
Bovengrondse leiding L: leidinglengte D: leidingdiameter	Breuk	$2,2 \cdot 10^{-8} \frac{L}{D}$ /jaar
	Groot lek ($\varnothing_{\text{lek}} = 0,36 \times \varnothing_{\text{leiding}}$)	$5,0 \cdot 10^{-8} \frac{L}{D}$ /jaar
	Middelgroot lek ($\varnothing_{\text{lek}} = 0,15 \times \varnothing_{\text{leiding}}$)	$1,2 \cdot 10^{-7} \frac{L}{D}$ /jaar
	Klein lek ($\varnothing_{\text{lek}} = 0,1 \times \varnothing_{\text{leiding}}$)	$2,8 \cdot 10^{-7} \frac{L}{D}$ /jaar
Ondergrondse leiding L: leidinglengte	Breuk	$2,8 \cdot 10^{-8} L$ /jaar
	Gat ($\varnothing_{\text{lek}} = 0,5 \times \varnothing_{\text{leiding}}$)	$6,9 \cdot 10^{-8} L$ /jaar
	Barst ($\varnothing_{\text{lek}} = 10 \text{ mm}$)	$7,9 \cdot 10^{-8} L$ /jaar

BRONTERMEN – Het vrijzettingsdebiet bij een breuk of een ernstig lek (gat of groot lek) van een lange transportleiding met gecomprimeerd waterstof op hoge druk is, mede door de lage dichtheid van waterstof, sterk transiënt en valt na enkele seconden terug op een fractie van het initiële vrijzettingsdebiet⁽³³⁾. De effecten van een breuk of een ernstig lek van de leiding worden daarom berekend op basis van een representatief vrijzettingsdebiet, dat gelijk wordt gesteld aan het gemiddelde debiet over de eerste 20 seconden van de vrijzetting. Bij een breuk van de leiding is de uitstroming verder tweezijdig. De terugstroming die echter te verwachten is vanuit de zijde van het tankstation is beperkt⁽³³⁾.

Voor kleinere lekkages aan een transportleiding is het vrijzettingsdebiet nagenoeg constant. Het vrijzettingsdebiet voor een middelgroot lek, een klein lek en een barst in de leiding op een druk van max. 100 bar kan worden afgelezen in figuur III.2.1.1 in functie van de equivalente lekdiameter.

IMPACT VEILIGHEIDSMATREGELEN – Om de hoeveelheid waterstof die vrijkomt vanuit de opslagbuffers van het tankstation bij een ongeval met de transportleiding te beperken (of vice versa), kan een op afstand bedienbare snelle noodafsluiter en/of een terugslagklep worden geplaatst ter hoogte van het aansluitpunt van de leiding op het station. Gelet op de beperkte terugstroming die te verwachten is vanuit de zijde van het tankstation na een incident met de transportleiding, is de impact van deze veiligheidsmaatregelen op de gevolgen (effecten) van het incident beperkt. Daarom wordt in onderhavige risicoanalyse (conservatief) geen rekening gehouden met deze veiligheidsmaatregelen.

III.2.1.1.2. Druktanks, gasflessen en cilinders

GENERIEKE FAALWIJZEN DRUKTANKS – Voor vast opgestelde druktanks worden zowel instantane als continue vrijzettingen beschouwd.

Het instantaan falen van een druktank wordt gemodelleerd als een catastrofale breuk van de tank waarbij de volledige inhoud onmiddellijk in de omgeving terechtkomt. Verder

⁽³³⁾ Bij een breuk van een transportleiding met een interne diameter van respectievelijk 100 en 150 mm bedraagt het initiële vrijzettingsdebiet vanuit de zijde van het transportnet ca. 70 en 160 kg/s. Na 20 seconden is dit vrijzettingsdebiet echter teruggevallen tot respectievelijk 4 en 10 kg/s. Het uitstroombdebit vanuit de zijde van het tankstation wordt geraamd op ca. 1 kg/s (berekend als een uitstroming vanuit de middendruk buffer via een 10 mm leiding).

worden vier continue vrijzettingsscenario's of lekscenario's bestudeerd, nl. een volledige uitstroom van de inhoud van de tank in een tijdspanne van tien minuten, een groot lek, een middelgroot lek en een klein lek. Standaard wordt daarbij voorzien dat inzake de equivalente lekdiаметer van het scenario 'groot lek' wordt uitgegaan van de diameter van de grootste aansluiting op de tank⁽³⁴⁾ en inzake de scenario's 'middelgroot lek' en 'klein lek' een equivalente lekdiаметer van respectievelijk 25 en 10 mm wordt aangehouden⁽³⁵⁾.

GENERIEKE FAALWIJZEN GASFLESSEN – Voor een gasfles (≤ 150 liter) wordt één scenario beschouwd namelijk het instantaan falen (breuk) van de gasfles waarbij de volledige inhoud onmiddellijk in de omgeving vrijkomt.

Op waterstoftankstations komen gasflessen doorgaans voor als zgn. flessenbatterijen. Flessenbatterijen bestaan uit een aantal individuele gasflessen die onderling door een leiding ($\varnothing = 5$ mm) in verbinding staan. Bij het falen van één van de flessen zal daardoor de gehele inhoud van de flessenbatterij vrijkomen. De representatieve faalwijze die wordt beschouwd voor een flessenbatterij is een instantaan falen van één gasfles, gevolgd door het uitstromen van de inhoud van de overige flessen in de batterij via een gat met een diameter van 5 mm.

GENERIEKE FAALWIJZEN CILINDERS – Voor een cilinder (150 tot 3.000 liter) wordt een instantaan scenario en een continu scenario beschouwd. Het instantaan scenario gaat uit van de onmiddellijke vrijzetting van de volledige inhoud in de omgeving. Het continu scenario gaat uit van een lekkage via een gat met een diameter gelijk aan de diameter van de grootste aansluiting op de cilinder. Voor cilinders met een inhoud kleiner dan 1.000 liter en cilinders met een inhoud groter of gelijk aan 1.000 liter wordt respectievelijk uitgegaan van een grootste aansluitdiameter van 5 en 8 mm.

Naar analogie met de hoger reeds besproken flessenbatterijen komen ook batterijen van cilinders voor op waterstoftankstations. Een typisch voorbeeld hiervan zijn de tankwagens of zgn. tube-trailers die bij de bevoorrading van een waterstoftankstation aangewend kunnen worden. Bij het falen (breuk of lek) van één cilinder uit de batterij zal de inhoud van alle cilinders in de batterij vrijkomen. Een instantane vrijzetting uit een batterij cilinders wordt daarom beschouwd als een instantaan falen van één cilinder gevolgd door het uitstromen van de inhoud van de overige cilinders in de batterij via een gat met een diameter van 5 mm (volume < 1.000 liter) of 8 mm (volume ≥ 1.000 liter).

FAALFREQUENTIES – De generieke faalfrequenties die in deze studie worden toegepast voor druktanks, gasflessen en cilinders zijn deze die zijn opgenomen in module 6 van het Handboek Risicoberekeningen [6]. Ze worden weergegeven in tabel III.2.1.2.

BRONTERMEN – Bij de bepaling van het vrijzettingsdebiet en de toestand van het gas na expansie tot op atmosferische druk wordt uitgegaan van een isentropische expansie van het gas in de drukhouder (tot in de uitstroomopening) en van een verdere expansie tot op atmosferische druk met behoud van massa, momentum en energie^(36,37). Figuur III.2.1.1

⁽³⁴⁾ Indien de lekdiаметer die aanleiding geeft tot een uitstroming van de volledige tankinhoud in een tijdspanne van 10 minuten (D10) kleiner is dan de diameter van de grootste aansluiting op de tank, dan wordt de equivalente lekdiаметer van het scenario 'groot lek' gelijkgesteld aan D10.

⁽³⁵⁾ Indien de maximale lekdiаметer gelegen is tussen 10 en 25 mm worden slechts twee lekscenario's bestudeerd, nl. een 'middelgroot lek' met een eq. lekdiаметer gelijk aan de maximale lekdiаметer en een 'klein lek' met een eq. lekdiаметer van 10 mm. Wanneer de maximale lekdiаметer kleiner is dan 10 mm wordt slechts één lekscenario's bestudeerd met een eq. lekdiаметer van 10 mm.

⁽³⁶⁾ Een isentropische expansie van het gas tot op atmosferische druk zoals voorgeschreven in het Handboek Risicoberekeningen resulteert in een onrealistisch lage gastemperatuur na expansie (ca. -185°C bij een expansie vanaf 50 bar tot ca. -240°C bij een expansie vanaf 900 bar).

⁽³⁷⁾ Ook in de studie "Risico- en effectafstanden waterstoftankstations" van het RIVM (NI) wordt uitgegaan van een verdere expansie met behoud van massa, momentum en energie [...].

toont de berekende vrijzettingsdebieten in functie van de initiële druk in de houder en de equivalente lekopening.

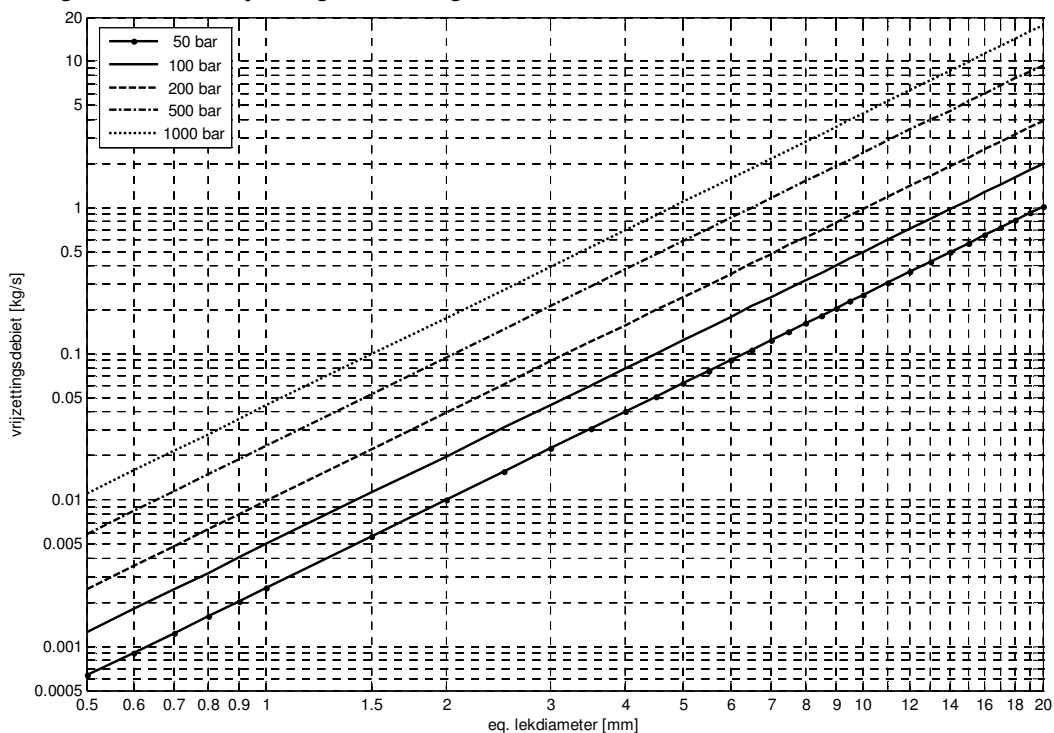
Tabel III.2.1.2: Generieke faalfrequenties voor opslagdruktanks, gasflessen en cilinders

Component	Generieke faalwijzen	Generieke faalfrequenties
Vaste bovengrondse opslagdruktank	Breuk	$3,2 \cdot 10^{-7}$ /jaar
	Volledige uitstroom in 10 minuten	$3,2 \cdot 10^{-7}$ /jaar
	Groot lek ($\varnothing_{lek} = \min(D_{max}, D10)$) (*)	$1,1 \cdot 10^{-6}$ /jaar
	Middelgroot lek ($\varnothing_{lek} = 25$ mm)	$1,0 \cdot 10^{-5}$ /jaar
	Klein lek ($\varnothing_{lek} = 10$ mm)	$5,5 \cdot 10^{-5}$ /jaar
Vaste ondergrondse opslagdruktank	Breuk	$1,6 \cdot 10^{-7}$ /jaar
	Volledige uitstroom in 10 minuten	$1,6 \cdot 10^{-7}$ /jaar
	Groot lek ($\varnothing_{lek} = \min(D_{max}, D10)$)	$1,1 \cdot 10^{-6}$ /jaar
	Middelgroot lek ($\varnothing_{lek} = 25$ mm)	$1,0 \cdot 10^{-5}$ /jaar
	Klein lek ($\varnothing_{lek} = 10$ mm)	$5,5 \cdot 10^{-5}$ /jaar
Cilinderbatterij N: aantal elementen	Breuk (**)	$N \times 1,1 \cdot 10^{-6}$ /jaar
	Lek (afbreken van de grootste aansluiting)	$N \times 1,1 \cdot 10^{-5}$ /jaar
Gasflessenbatterij N: aantal elementen	Breuk (**)	$N \times 1,1 \cdot 10^{-6}$ /jaar
Tube-trailer of batterijvoertuig N: aantal elementen	Breuk (**)	$N \times 1,1 \cdot 10^{-6}$ /jaar
	Lek (afbreken van de grootste aansluiting)	$N \times 1,1 \cdot 10^{-5}$ /jaar

(*) D_{max} en $D10$ staan respectievelijk voor de diameter van de maximale aansluiting op de tank en de diameter die aanleiding geeft tot een uitstroming van de volledige inhoud van de tank in een tijdspanne van 10 minuten.

(**) Wanneer verschillende gasflessen of cilinders worden aangewend in de vorm van een cilinder- of flessenbatterij, dient bij het instantaan falen van één element ook rekening gehouden te worden met het uitstromen van de inhoud van de andere elementen door een opening met een equivalente diameter gelijk aan de interne diameter van de verbindingleidingen.

Figuur III.2.1.1: Vrijzettingsdebiet in geval van een lek aan een drukhouder met waterstof



III.2.1.1.3. Flexibele verlaad- of koppelslangen

GENERIEKE FAALWIJZEN – Voor de flexibele slangen die deel uitmaken van een verdeel- of losinstallatie worden twee faalwijzen beschouwd nl. een breuk en een lek. Beide faalwijzen geven aanleiding tot een continue vrijzetting van gasvormig waterstof uit het installatie-onderdeel.

FAALFREQUENTIES – Voor de verlading van gevaarlijke stoffen met behulp van flexibele slangen zijn in het Handboek Risicoberekeningen twee sets van faalfrequenties opgenomen, nl. faalfrequenties voor standaard slangen en faalfrequenties voor LPG-slangen [6]. De faalfrequenties voor LPG-slangen kunnen conform het Handboek Risicoberekeningen enkel worden toegepast voor de verlading van ontvlambare vloeibare gassen, categorie 1 en 2 (incl. LPG) en aardgas, en gelden stricto sensu niet voor de verlading van andere gassen zoals waterstof.

Omdat het in de toekomst echter niet uitgesloten is dat de faalfrequenties voor LPG-slangen ook als representatief worden geacht voor waterstofslangen^(38,39) worden in deze studie beide sets van faalfrequenties aangewend voor het bepalen van de externe veiligheidsafstanden van waterstoftankstations (zie tabel III.2.1.3).

Tabel III.2.1.3: Generieke faalfrequenties voor flexibele los- en verdeelslangen

Component	Generieke faalwijzen	Generieke faalfrequenties
standaard verlaadslang	Breuk	4,0 10 ⁻⁶ /gebruiksuur
	Lek ($\varnothing_{\text{lek}} = 0,1 \times \varnothing_{\text{leiding}}$)	4,0 10 ⁻⁵ /gebruiksuur
LPG-verlaadslang	Breuk	5,4 10 ⁻⁷ /gebruiksuur
	Lek ($\varnothing_{\text{lek}} = 0,1 \times \varnothing_{\text{leiding}}$)	5,4 10 ⁻⁶ /gebruiksuur

Naast het gebruik tijdens verladingsactiviteiten kunnen flexibele slangen ook voor andere doeleinden worden aangewend op een waterstoftankstation. Flexibele slangverbindingen worden bijvoorbeeld ook gebruikt om permanente verbindingen te creëren tussen verschillende componenten van een tankstation die op korte afstand van elkaar staan (bv. tussen de uitlaat van de compressor en de naburige middendruk of hogedruk buffer). In dat geval is er geen sprake van een verladingsactiviteit en zijn de faalfrequenties van een verlaadslang niet van toepassing op de betreffende slangen, maar wel deze van een bovengrondse verbindingsleiding (zie § III.2.1.1.4).

Een randgeval betreft het gebruik van een flexibele slang voor het aankoppelen van een verwisselbare lagedruk opslagbuffer aan de vaste installaties van het tankstation. In dat geval is er eveneens sprake van een permanent gebruik van de slang, maar wordt de slang wel meerdere keren per jaar af- en aangekoppeld wat aanzien wordt als een risicovolle handeling die vergelijkbaar is met een verladingsactiviteit. De faalfrequenties die in onderhavige studie worden toegepast voor dergelijke koppelslangen werden bekomen door de faalfrequenties van bovengrondse leidingen en verlaadslangen te combineren (zie tabel III.2.1.4). Concreet wordt volgende werkwijze toegepast: voor het af- en aankoppelen van een verwisselbare opslagbuffer (duur van de operatie: ca. 1 uur) worden de faalfrequenties van flexibele verlaadslangen gebruikt; voor de resterende tijd dat de koppelslang in gebruik is worden de faalfrequenties van bovengrondse leidingen toegepast.

⁽³⁸⁾ In Nederland worden de faalfrequenties van LPG-slangen reeds toegepast voor waterstofslangen.

⁽³⁹⁾ Bij de bepalingen van de externe veiligheidsafstanden voor LNG- en CNG-tankstations kan (zonder bijkomende onderbouwing) worden uitgegaan van de faalfrequenties van LPG-slangen. Het toepassen van verschillende sets van faalfrequenties voor los- en verdeelslangen op tankstations met ontvlambare gassen, kan leiden tot een mogelijke scheeffrekking in de risicobeoordeling van waterstoftankstations t.o.v. gelijkaardige LNG/CNG-tankstations.

Tabel III.2.1.4: Generieke faalfrequenties voor koppelslangen

Component	Generieke faalwijzen	Generieke faalfrequenties (*, **)
standaard koppelslang L: slanglengte (5 m) D: slangdiameter X: # wisseloperaties (/jaar)	Breuk	$\frac{(8760-X)}{8760} \cdot 7,2 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{L}{D} + x \cdot 4,0 \cdot 10^{-6} / \text{jaar}$
	Lek ($\varnothing_{\text{lek}} = 0,1 \times \varnothing_{\text{slang}}$)	$\frac{(8760-X)}{8760} \cdot 4,0 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{L}{D} + x \cdot 4,0 \cdot 10^{-5} / \text{jaar}$
LPG-koppelslang L: slanglengte (5 m) D: slangdiameter X: # wisseloperaties (/jaar)	Breuk	$\frac{(8760-X)}{8760} \cdot 7,2 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{L}{D} + x \cdot 5,4 \cdot 10^{-7} / \text{jaar}$
	Lek ($\varnothing_{\text{lek}} = 0,1 \times \varnothing_{\text{leiding}}$)	$\frac{(8760-X)}{8760} \cdot 4,0 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{L}{D} + x \cdot 5,4 \cdot 10^{-6} / \text{jaar}$

(*) Om de berekeningen enigszins te vereenvoudigen worden de vier faalwijzen en -frequenties die worden bestudeerd voor een bovengrondse leiding herverdeeld over de twee faalwijzen die worden beschouwd voor een verlaadslang. Concreet worden de faalfrequenties voor een breuk en een groot lek van de leiding toegekend aan de faalwijze breuk en worden de faalfrequenties voor een middelgroot en een klein lek van de leiding toegekend aan de faalwijze lek.

(**) Wanneer het aantal wisseloperaties beperkt is (< 1000 per jaar) kan de factor (8760-X)/8760 verder benaderd worden door 1.

BRONTERMEN – Bij de faalwijze breuk is de uitstroming doorgaans⁽⁴⁰⁾ tweezijdig. Bijvoorbeeld bij het bevoorraden van een tankstation met behulp van tube-trailers of batterijvoertuigen treedt bij breuk van de losslang zowel een uitstroming op aan de zijde van de trailer als aan de zijde van het tankstation. Bij de faalwijze breuk wordt verder rekening gehouden met het drukverlies dat optreedt bij een uitstroming van gecomprimeerde gassen doorheen een korte leiding met een beperkte diameter (leidinglengte: 2 m). De faalwijze lek wordt gemodelleerd als een gat in de slang met een equivalente lekdiаметer die gelijk is aan tien percent van de slangdiameter.

Het vrijzettingsdebiet en de toestand van het gas na expansie worden, zoals in voorgaande paragraaf wordt toegelicht, bepaald uitgaande van een isentropische expansie van het gas in het installatieonderdeel en een verdere expansie van het gas tot op atmosferische druk met behoud van massa, momentum en energie. Het vrijzettingsdebiet voor de faalwijze lek wordt gegeven in figuur III.2.1.1 in functie van de lekdiаметer en de maximale druk in de slang.

IMPACT VEILIGHEIDSMATREGELEN – Om de hoeveelheid waterstof die vrijkomt bij een ongeval met een flexibele slang te beperken, kunnen verschillende veiligheidsmaatregelen worden voorzien. De losinstallatie kan worden uitgerust met een doorstroombegrenzer stroomopwaarts van de slang, een terugslagklep stroomafwaarts van de slang en/of een noodstop- of inbloksysteem dat bij activatie op afstand bedienbare afsluiters aan beide zijden van de slang dichtstuurt.

INBLOKSYSTEEM – Het effect van een inbloksysteem bestaat erin dat een incidentele vrijzetting ter hoogte van de slang na een zekere tijd volledig wordt gestopt door het sluiten van de aanwezige inblokafsluiters aan beide zijden van de slang. Een inbloksysteem kan zowel automatisch (door een gasdetectiesysteem) of manueel (door het ingrijpen van een toezichthoudende operator) worden geactiveerd.

Door het in werking treden van een inbloksysteem bij een incidentele vrijzetting van een zeer licht ontvlambaar gas in openlucht, wordt de omvang en de aanwezigheidsduur van de brandbare wolk die zich vormt in de omgeving gereduceerd. Echter, bij een vrijzetting van waterstof onder hoge druk bereikt de gevormde brandbare wolk reeds na enkele seconden zijn maximale omvang (steady state), waardoor het positieve effect van een inbloksysteem met een reactietijd van een halve minuut of meer niet zichtbaar is in het

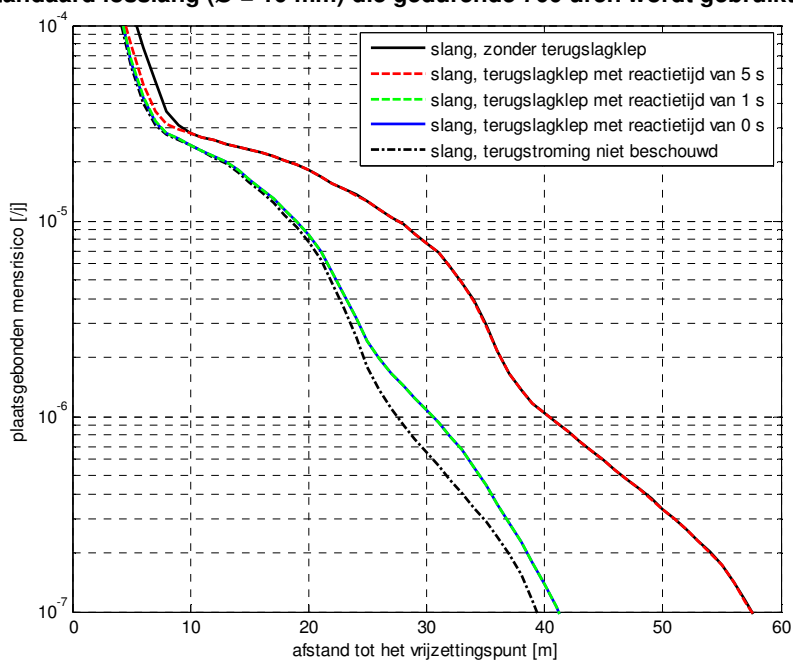
⁽⁴⁰⁾ In geval van een incident tijdens het tanken van waterstof wordt een terugstroming van waterstof uit de brandstoftank van het voertuig vermeden door de aanwezigheid van een geïntegreerde terugslagklep t.h.v. de vulopening van het voertuig én een tweede terugslagklep t.h.v. de inlaat van elke drukcilinder (brandstoftank). Het gelijktijdig falen van beide terugslagkleppen is zeer onwaarschijnlijk, zodat een terugstroming vanuit de brandstoftank van het voertuig bij een faling van de vulslang niet wordt beschouwd.

resultaat van de kwantitatieve risicoanalyse⁽⁴¹⁾. Om die reden werden inbloksystemen in onderhavige studie niet beschouwd bij het bepalen van de interne of externe veiligheidsafstanden van waterstoftankstations.

TERUGSLAGKLEP – Het plaatsen van een terugslagklep ter hoogte van een aansluitpunt van een flexibele los- of koppelslang is een veelgebruikte veiligheidsmaatregel om een omvangrijke vrijzetting vanuit een stroomafwaarts gelegen opslagbuffer bij het falen van de slang te vermijden. Voor terugslagkleppen die regelmatig worden getest, wordt in de kwantitatieve risicoanalyse standaard uitgegaan van een faalkans per aanspraak van 6% en een reactietijd van 5 seconden.

Bij de transfer van gassen onder hoge druk is een reactietijd van 5 seconden voor een terugslagklep echter onrealistisch groot⁽⁴²⁾ en resulteert dergelijke aanname in de risicoanalyse bovendien in een resultaat waarbij de positieve impact van de veiligheidsmaatregel niet of nauwelijks zichtbaar is (zie figuur III.2.1.2). Om te komen tot een meer realistische inschatting van de impact van terugslagkleppen op het risico dat uitgaat van waterstoftankstations wordt in onderhavige studie uitgegaan van terugslagkleppen met een reactietijd van 1 seconde in plaats van 5 seconden.

Figuur III.2.1.2: Impact van de reactietijd van een terugslagklep op het berekende risico van een standaard losslang ($\varnothing = 10$ mm) die gedurende 700 uren wordt gebruikt



DOORSTROOMBEGRENZER – Een doorstroombegrenzer is een klep die via een ingebouwd mechanisme automatisch sluit wanneer het doorstroomdebiet een ingestelde waarde overschrijdt. Een doorstroombegrenzer wordt meestal stroomopwaarts van een flexibele slang geplaatst om een omvangrijke vrijzetting bij het falen van de slang te vermijden. Voor correct gedimensioneerde doorstroombegrenzers, wordt in de kwantitatieve risicoanalyse

⁽⁴¹⁾ Bij een vrijzetting van waterstof onder hoge druk, bereikt de brandbare wolk die zich vormt in de omgeving in minder dan 5 s zijn maximale omvang. Door het activeren van een inbloksysteem, waarvoor standaard een reactietijd van minstens 2 minuten wordt gehanteerd, wordt de omvang van de brandbare wolk in de omgeving dus niet beperkt. Aangezien de generieke ontstekingskansen die worden toegepast in een kwantitatieve risicoanalyse verder onafhankelijk zijn van de aanwezigheidsduur van de brandbare wolk (zie tabel III.2.1.2), is het effect van een inbloksysteem op een waterstoftankstation niet zichtbaar in het resultaat van een kwantitatieve risicoanalyse.

⁽⁴²⁾ Volgens een leverancier van terugslagkleppen voor waterstoftankstations (Maximator) zal de reactietijd van een terugslagklep die wordt blootgesteld aan een aanzienlijk drukverschil kleiner zijn dan 1 seconde [17].

standaard uitgegaan van een faalkans per aanspraak van 6% en een reactietijd van 5 seconden.

Om te komen tot een meer realistische inschatting van het risico op waterstoftankstations (zie hierboven) wordt in onderhavige studie opnieuw uitgegaan van doorstroombegrenzers met een reactietijd van 1 seconde in plaats van 5 seconden.

III.2.1.1.4. Verbindingsleidingen tussen de componenten op het station

GENERIEKE FAALWIJZEN – Voor de bovengrondse leidingen op het tankstation worden vier faalwijzen beschouwd nl. een breuk, een groot lek, een middelgroot lek en een klein lek. Alle faalwijzen geven aanleiding tot een continue vrijzetting van gasvormig waterstof uit het installatie-onderdeel.

FAALFREQUENTIES – De generieke faalfrequenties die worden toegepast voor bovengrondse leidingen zijn deze die zijn opgenomen in module 9 van het Handboek Risicoberekeningen [6]. Ze worden weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel III.2.1.5: Generieke faalfrequenties voor ondergrondse en bovengrondse secties van een waterstoftransportleiding

Component	Generieke faalwijzen	Generieke faalfrequenties
Bovengrondse leiding L: leidinglengte D: leidingdiameter	Breuk	$2,2 \cdot 10^{-8} \frac{L}{D}$ /jaar
	Groot lek ($\varnothing_{\text{lek}} = 0,36 \times \varnothing_{\text{leiding}}$)	$5,0 \cdot 10^{-8} \frac{L}{D}$ /jaar
	Middelgroot lek ($\varnothing_{\text{lek}} = 0,15 \times \varnothing_{\text{leiding}}$)	$1,2 \cdot 10^{-7} \frac{L}{D}$ /jaar
	Klein lek ($\varnothing_{\text{lek}} = 0,1 \times \varnothing_{\text{leiding}}$)	$2,8 \cdot 10^{-7} \frac{L}{D}$ /jaar

BRONTERMEN – Bij de faalwijze breuk is de uitstroming tweezijdig en wordt rekening gehouden met het drukverlies dat optreedt bij een uitstroming van gecompriëerde gassen doorheen een korte leiding met een beperkte diameter (leidinglengte: 2 m). De lekken worden gemodelleerd als een gat in de leiding met een equivalente lekdiаметer die gelijk is aan 36% (groot lek), 15% (middelgroot lek) en 10% (klein lek) van de leidingdiameter.

Het vrijzettingsdebiet en de toestand van het gas na expansie worden, zoals in voorgaande paragraaf wordt toegelicht, bepaald uitgaande van een isentropische expansie van het gas in het installatieonderdeel en een verdere expansie van het gas tot op atmosferische druk met behoud van massa, momentum en energie. Voor de lekken wordt het vrijzettingsdebiet gegeven in figuur III.2.1.1 in functie van de lekdiаметer en de maximale druk in de leiding.

IMPACT VEILIGHEIDSMATREGELEN – Om de hoeveelheid waterstof die vrijkomt bij een ongeval op het tankstation te beperken, worden er meerdere terugslagkleppen geplaatst in de installatie. De terugslagkleppen verhinderen dat aanzienlijke hoeveelheden waterstof worden vrijgezet uit de installatie (bv. uit de opslagbuffer) bij het omkeren van de normale stroomrichting.

TERUGSLAGKLEP – Het plaatsen van een terugslagklep ter hoogte van de inlaat van een omvangrijke opslagbuffer is een veelgebruikte veiligheidsmaatregel om een omvangrijke vrijzetting vanuit de opslagbuffer bij het falen van een stroomopwaarts gelegen installatie-onderdeel te vermijden. Voor terugslagkleppen die regelmatig worden getest, wordt in de kwantitatieve risicoanalyse uitgegaan van een faalkans per aanspraak van 6% en een reactietijd van 1 seconde (zie hoger).

III.2.1.1.5. Koelunit

GENERIEKE FAALWIJZEN – Voor een buizenwarmtewisselaar waarbij de gevaarlijke stof (gasvormig waterstof) doorheen de pijpen stroomt en er in de mantel geen Seveso-gevaarlijke stof aanwezig is wordt enkel de faalwijze pijpbreuk beschouwd.

FAALFREQUENTIES – De generieke faalfrequentie die wordt toegepast voor het scenario van een pijpbreuk in een buizenwarmtewisselaar wordt vermeld in module 7 van het Handboek Risicoberekeningen en is gelijk aan het product van $4,82 \cdot 10^{-6}$ /jaar en de totale pijplengte [6].

BRONTERMEN – Bij een pijpbreuk is de uitstroming tweezijdig. Het uitstroomdebiet wordt bepaald rekening houdend met het drukverlies dat ontstaat als gevolg van stroming van gassen onder hoge druk doorheen een leiding met een beperkte diameter. Voor het type warmtewisselaar⁽⁴³⁾ dat wordt beschouwd in deze studie wordt uitgegaan van een uitstroming door een leiding met een lengte van 2 m.

Het vrijzettingsdebiet en de toestand van het gas na expansie worden, zoals in voorgaande paragraaf wordt toegelicht, bepaald uitgaande van een isentropische expansie van het gas in het installatieonderdeel en een verdere expansie van het gas tot op atmosferische druk met behoud van massa, momentum en energie. Voor de lekken wordt het vrijzettingsdebiet gegeven in figuur III.2.1.1 in functie van de lekdiameter en de maximale druk in de leiding.

III.2.1.1.6. Compressoren

GENERIEKE FAALWIJZEN – Voor compressoren worden twee faalwijzen beschouwd nl. een breuk en een lek. Het breukscenario wordt gemodelleerd als een breuk van de persleiding. Het lekscenario wordt gemodelleerd als een gat in de persleiding met een equivalente diameter gelijk aan 10% van de leidingdiameter. Beide faalwijzen geven aanleiding tot een continue vrijzetting van gasvormig waterstof uit het installatie-onderdeel.

FAALFREQUENTIES – De generieke faalfrequenties die worden toegepast voor compressoren zijn deze die zijn opgenomen in module 8 van het Handboek Risicoberekeningen [6]. Ze worden weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel III.2.1.6: Generieke faalfrequenties voor compressoren

Component	Generieke faalwijzen	Generieke faalfrequenties
compressor	Breuk (afbreken van de persleiding)	$1,0 \cdot 10^{-4}$ /jaar
	Lek ($\varnothing_{\text{lek}} = 0,1 \times \varnothing_{\text{persleiding}}$)	$4,4 \cdot 10^{-3}$ /jaar

BRONTERMEN – Bij de faalwijze breuk is de uitstroming tweezijdig. Immers, bij het falen van de persleiding van de compressor kan waterstof zowel langs de compressorzijde als vanuit een stroomopwaarts gesitueerde middendruk of hogedruk buffer in de omgeving worden vrijgezet. Het vrijzettingsdebiet langs compressorzijde wordt in rekening gebracht als anderhalf keer het nominale debiet dat door de compressor geleverd wordt (typisch 50 tot 500 Nm³/h). Het vrijzettingsdebiet vanuit stroomafwaarts gelegen installatieonderdelen kan worden afgeleid op basis van figuur III.2.1.1 in functie van de diameter van de persleiding en de initiële druk in de stroomafwaarts gelegen installatieonderdelen.

Het totale vrijzettingsdebiet voor het scenario breuk van de compressor wordt bepaald door de som van beide debieten. Langs de zijde van de compressor bedraagt het verwachte vrijzettingsdebiet 2 tot 20 g/s. Langs de zijde van de middendruk of hogedruk buffer

⁽⁴³⁾ In deze studie wordt uitgegaan van een coaxiale (spiraalvormige) buiswarmtewisselaar waarbij het waterstofgas in de binnenste buis stroomt en het koelmiddel in tegenstroom doorheen de buitenste buis stroomt.

bedraagt het vrijzettingsdebiet typisch 0,5 tot 2 kg/s. Het vrijzettingsdebiet in geval van een lek aan de compressor kan worden afgelezen in figuur III.2.1.1 en bedraagt typisch 5 tot 35 g/s.

IMPACT VEILIGHEIDSMATREGELEN – De compressoren van een waterstoftankstation worden doorgaans beschut opgesteld in een afgesloten ruimte (container). In geval van een beperkte vrijzetting van waterstof (< 50 g/s) gevolgd door een directe ontsteking ontstaat een brand in de compressoruimte, maar zijn buiten de ruimte geen relevante letale effecten te verwachten. Anderzijds kan het vrijgezette waterstof wel mogelijk accumuleren in de compressoruimte en in geval van een vertraagde ontsteking aanleiding geven tot een gas-explosie.

Om te verhinderen dat er een explosieve atmosfeer wordt gevormd in de besloten ruimte na een beperkte waterstofvrijzetting in de ruimte worden er verschillende veiligheidsmaatregelen genomen. Zo wordt de compressoruimte op een waterstoftankstation standaard voorzien van voldoende passieve of actieve ventilatie en wordt de ruimte uitgerust met een of meerdere correct opgestelde gasdetectoren die bij detectie van waterstofgas in de ruimte automatisch het aanwezige noodstopsysteem (inbloksysteem) activeren. Bij een correcte werking van het noodstopsysteem wordt de installatie in een veilige toestand gebracht door de getroffen sectie te isoleren van de rest van de installatie en het aanwezige gas in de betreffende sectie te evacueren. Bij falen van het noodstopsysteem is de vorming van een ontvlambare atmosfeer in het bovenste deel van de compressoruimte (25% van het volume) niet geheel uit te sluiten, zodat onder de gegeven omstandigheden rekening moet worden gehouden met het optreden van een beperkte gasexplosie in de ruimte na een vertraagde ontsteking van het aanwezige waterstofgas. De kans op falen van het automatische inbloksysteem wordt in onderhavige studie conservatief ingeschat op 0,1 per aanspraak⁽⁴⁴⁾.

In geval van een ernstig incident (breuk van de persleiding) zal het vrijzettingsdebiet sterk worden gereduceerd door een correcte werking van de aanwezige terugslagkleppen in de installatie. Onder dergelijke omstandigheden is, zoals beschreven in bovenstaande paragraaf, enkel een beperkte gasexplosie te verwachten bij het falen van het aanwezige noodstopsysteem. Wanneer de aanwezige terugslagklep in de persleiding van de compressor faalt, wordt waterstof aan een veel hoger debiet (> 500 g/s) vrijgezet vanuit de stroomafwaarts gelegen buffers en kan de volledige compressoruimte in een zeer korte tijdspanne worden gevuld met een ontvlambaar gasmengsel. De responstijd van het noodstopsysteem wordt onder de gegeven omstandigheden ontoereikend geacht om in geval van een vertraagde ontsteking een gasexplosie in de ruimte te vermijden.

III.2.1.1.7. Lokale productie-eenheden (elektrolyse of stoomreforming)

GENERIEKE FAALWIJZEN – Lokale productie-eenheden o.b.v. elektrolyse of stoomreforming zijn geautomatiseerde en gecontaineriseerde modules die bestaan uit verschillende installatie-onderdelen die met elkaar in verbinding staan. Omdat deze installaties vrij complex zijn en gedetailleerde gegevens van de individuele onderdelen meestal niet voor handen zijn, worden de risico's die uitgaan van de installaties ingeschat op niveau van het insluitsysteem.

In onderhavige studie worden voor de lokale productie-eenheden twee representatieve faalwijzen of vrijzettingsscenario's op het niveau van het insluitsysteem weerhouden, nl. een instantane vrijzetting van een aanzienlijke hoeveelheid waterstof (of aardgas) uit de

⁽⁴⁴⁾ Voor de kans op falen van een automatisch inbloksysteem wordt in module 13 van het Handboek Risicoberekeningen een richtwaarde gegeven van 0,1 tot 0,001 per aanspraak [...].

installatie (> 200 g) en een continue vrijzetting van waterstof (of aardgas) aan een beperkt debiet (< 20 g/s).

FAALFREQUENTIES – De frequenties van voorkomen van beide vrijzettingsscenario's worden afgeleid op basis van de generieke faalfrequenties van de individuele installatie-onderdelen die in de modules aanwezig zijn en waterstof (of aardgas) kunnen bevatten. Op basis van de beschikbare stroomschema's van beide types van lokale productie-eenheden (figuren II.2.2.1 en II.2.2.4) worden volgende installatie-onderdelen geselecteerd voor het bepalen van de vrijzettingfrequenties:

- Elektrolyse-module:
 - 4 procesdrukvaten
 - 10 m leiding ($\varnothing = 10$ mm)
- Stoomreforming-module:
 - 2 opslagdrukvaten en 4 procesdrukvaten
 - 2 buizenwarmtewisselaars
 - 10 m leiding ($\varnothing = 10$ mm)

Verder wordt aangenomen dat een breuk van een drukvat, warmtewisselaar of leiding resulteert in een quasi instantane vrijzetting van een aanzienlijke hoeveelheid waterstofgas of aardgas (≥ 200 g) in de module en dat een lek aan een druktank, warmtewisselaar of verbindingsleiding resulteert in een beperkte continue vrijzetting van waterstof of aardgas (< 20 g/s) in de module⁽⁴⁵⁾.

De generieke faalfrequenties voor de representatieve faalwijzen of vrijzettingsscenario's van een lokale productie-eenheid die op basis van bovenstaande aannames zijn afgeleid worden weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel III.2.1.7: Generieke faalfrequenties voor lokale productie-eenheden

Component	Generieke faalwijzen	Generieke faalfrequenties
Elektrolyse-module	Instantane omvangrijke vrijzetting (≥ 200 g)	$3,5 \cdot 10^{-5}$ /jaar
	Beperkte continue vrijzetting (< 20 g/s)	$1,1 \cdot 10^{-3}$ /jaar
Stoomreformer-module	Instantane omvangrijke vrijzetting (≥ 200 g)	$6,2 \cdot 10^{-5}$ /jaar
	Beperkte continue vrijzetting (< 20 g/s)	$2,1 \cdot 10^{-2}$ /jaar

IMPACT VEILIGHEIDSMATREGELEN – Het grootste risico dat uitgaat van de gecontaineriseerde elektrolyse- en stoomreformer-modules is dat van een gasexplosie in de module na een vrijzetting van een ontvlambaar gas uit een installatie-onderdeel. Om dit risico te beheersen worden de containers standaard uitgerust met voldoende (actieve of passieve) ventilatie en voorzien van gasdetectie met een automatische aansturing van het aanwezige noodstop- of inbloksysteem.

In geval van een beperkte vrijzetting van waterstof of aardgas (< 50 g/s) gevolgd door een directe ontsteking ontstaat een brand in de besloten ruimte, maar zijn buiten de ruimte geen relevante letale effecten te verwachten. Anderzijds kan het vrijgezette waterstof wel mogelijk accumuleren in de besloten ruimte en in geval van een vertraagde ontsteking aanleiding geven tot een gasexplosie.

Om te verhinderen dat er een explosieve atmosfeer wordt gevormd in de besloten ruimte na een beperkte waterstof- of aardgasvrijzetting in de ruimte worden er verschillende veiligheidsmaatregelen genomen. Zo worden de lokale productie-eenheden op een waterstof-tankstation standaard voorzien van voldoende passieve of actieve ventilatie en wordt de

⁽⁴⁵⁾ Gelet op de zeer beperkte waterstof-inhoud van deze installaties (0,2 - 2,25 kg) werd geoordeeld dat een groot lek of uitstroming in 10 min. eveneens aanleiding geeft tot een beperkte vrijzetting.

ruimte uitgerust met een of meerdere correct opgestelde gasdetectoren die bij detectie van waterstof of aardgas in de ruimte automatisch het aanwezige noodstopstelsel (inbloksysteem) activeren. Bij een correcte werking van het noodstopstelsel wordt de installatie in een veilige toestand gebracht door de getroffen sectie te isoleren van de rest van de installatie en het aanwezige gas in de betreffende sectie te evacueren. Bij falen van het noodstopstelsel is de vorming van een ontvlambare atmosfeer in het bovenste deel van de ruimte (25% van het volume) niet geheel uit te sluiten, zodat onder de gegeven omstandigheden rekening moet worden gehouden met het optreden van een beperkte gasexplosie in de ruimte na een vertraagde ontsteking van het aanwezige ontvlambare gasmengsel. De kans op falen van het automatische inbloksysteem wordt in onderhavige studie conservatief ingeschat op 0,1 per aanspraak⁽⁴⁴⁾.

In geval van een instantane omvangrijke vrijzetting van waterstof of aardgas in de module (> 200 g) kan de volledige ruimte in een zeer korte tijdspanne worden gevuld met een ontvlambaar gasmengsel. De responstijd van het noodstopstelsel wordt onder de gegeven omstandigheden ontoereikend geacht om in geval van een vertraagde ontsteking een gasexplosie in de ruimte te vermijden.

III.2.1.2. Vervolgscenario's

De vervolgscenario's die bestudeerd worden in een kwantitatieve risicoanalyse zijn afhankelijk van het karakter van de vrijzetting (instantaan of continue), de toestand van het vrijgezette product na expansie tot op atmosferische druk (vast, vloeibaar of gasvormig) en de gevaarseigenschappen van het gevaarlijke product in kwestie.

Hieronder worden de vervolggebeurtenissen voor zowel instantane als continue vrijzettingen van gasvormig waterstof onder druk besproken. Instantane vrijzettingen houden daarbij verband met een catastrofaal scenario van een vaste druktank, cilinder of gasfles. Continue vrijzettingen houden verband met het optreden van lekken aan druktanks en cilinders of het falen van flexibele slangen, compressoren, leidingen of warmtewisselaars.

III.2.1.2.1. Instantane vrijzettingen

Een catastrofale breuk van een drukhouder (druktank, gasfles of cilinder) waarin gasvormig waterstof onder druk wordt opgeslagen geeft aanleiding tot het optreden van een fysische explosie (zgn. druktankexplosie). Indien het catastrofaal gebeuren van de drukhouder gepaard gaat met een directe ontsteking van het vrijgezette gas ontstaat tevens een vuurbal.

Wanneer het vrijgezette gas niet direct ontstoken wordt, kan dit zich in de omgeving verspreiden. Een uitgestelde ontsteking van de brandbare wolk die zich vormt in de omgeving kan aanleiding geven tot het optreden van een wolkbrand of een gaswolkexplosie.

III.2.1.2.2. Continue vrijzettingen

IN OPEN LUCHT – Bij een continue vrijzetting van gasvormig waterstof onder hoge druk geeft een directe ontsteking aanleiding tot het optreden van een fakkelbrand. Wanneer een directe ontsteking uitblijft, vormt zich een zeer turbulente jet⁽⁴⁶⁾ in de omgeving. Een uitgestelde ontsteking van de jet of gaswolk leidt tot het optreden van een wolkbrand (flash fire) of een gaswolkexplosie⁽⁴⁷⁾.

IN EEN BESLOTEN RUIMTE – Bij een continue vrijzetting van waterstof in een besloten ruimte is enkel het scenario van een ingesloten gaswolkexplosie relevant voor het extern mensrisico (zie § III.2.1.1.3). Bij een fakkelbrand in de ruimte zijn er buiten de ruimte immers geen relevante letale effecten te verwachten.

III.2.1.2.3. Overzicht vervolgsenario's en -frequenties

Waterstof is een ontvlambaar gas van categorie 1 dat verder geen acuut toxische eigenschappen heeft. Een overzicht van de belangrijkste gevaarseigenschappen en fysische kenmerken van waterstof wordt gegeven in bijlage 1. De gebeurtenissenboom in figuur III.2.1.3 met bijhorende legendetabel III.2.1.8 geeft een overzicht van de mogelijke ongevalsscenario's die kunnen optreden na een instantane of continue vrijzetting van waterstof uit een installatieonderdeel op een waterstoftankstation.

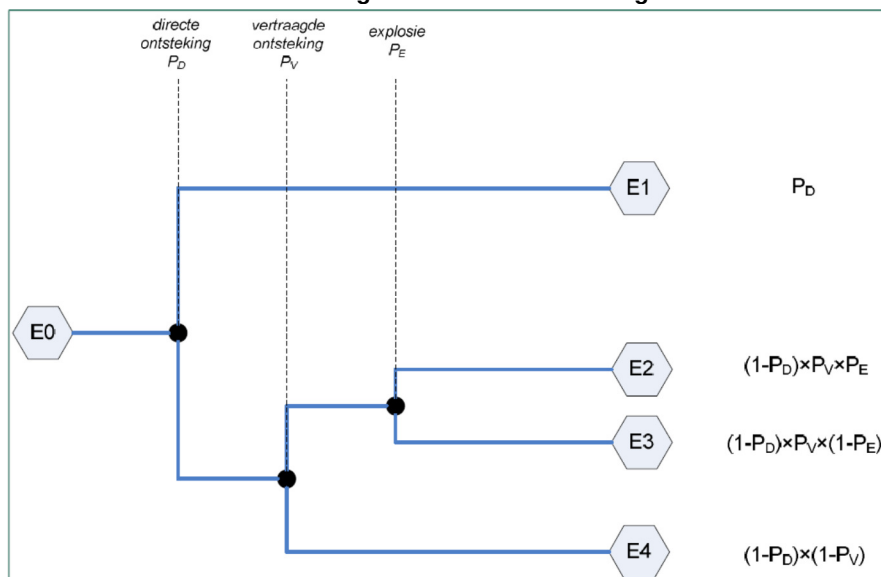
De frequenties (vervolgkansen) die voor de verschillende ongevalsscenario's in rekening worden gebracht, worden afgeleid op basis van figuur III.2.1.3 (gebeurtenissenboom) en tabel III.2.1.9. De generieke vervolgsenario's zijn betrokken uit het Handboek Risicoberekeningen en zijn van toepassing voor ontvlambare gassen met een hoge reactiviteit⁽⁴⁸⁾ [6]. Deze vervolgsenario's zijn tevens afhankelijk van de omvang van de instantane of continue vrijzetting.

⁽⁴⁶⁾ Een continue vrijzetting van waterstof onder hoge druk gaat gepaard met dermate hoge uittredesnelheden dat er een zeer turbulente jet ontstaat waarvan het gedrag in eerste instantie uitsluitend wordt bepaald door de impuls van de vrijzetting. Naarmate het uitstromende gas zijn impuls verliest (door wrijving met de omgevingslucht), zal ook de zeer lage dichtheid van het gas een impact hebben op het stromingsgedrag van het vrijgezette waterstofgas.

⁽⁴⁷⁾ De turbulentie die aanwezig is in de jet kan zelfs in een open omgeving leiden tot vlamsnelheden die voldoende hoog zijn om schadelijke drukgolven te produceren in de omgeving.

⁽⁴⁸⁾ In de stoomreforming-modules is zowel waterstof (gas met een hoge reactiviteit) als aardgas (gas met een lage reactiviteit) aanwezig. Conservatief worden enkel de ontstekingskansen voor hoog reactieve gassen toegepast.

Figuur III.2.1.3: Generieke gebeurtenissenboom



Tabel III.2.1.8: Legende generieke gebeurtenissenboom (mogelijke ongevalsscenario's)

	Toelichting	Instantane vrijzetting	Continue vrijzetting
E0	Fenomenen die rechtstreeks gekoppeld zijn aan de vrijzetting	Fysische explosie	Niet van toepassing
E1	Fenomenen die optreden na directe ontsteking	Vuurbal	Fakkelbrand
E2	Fenomenen die optreden bij een vertraagde ontsteking van een brandbare wolk waarbij de vlammen versnellen tot voldoende hoge snelheden om een significante overdruk te produceren	Gaswolkexplosie	Gaswolkexplosie
E3	Fenomenen die optreden bij een vertraagde ontsteking van een brandbare wolk waarin de vlammsnelheid onvoldoende is om een significante overdruk te produceren	Wolkbrand	Wolkbrand
E4	Fenomenen die optreden bij het volledig uitblijven van ontsteking	-	-

Tabel III.2.1.9: Vervolgkansen voor ontvlambare gassen met een hoge reactiviteit

Instantane vrijzetting [kg]	Continue vrijzetting [kg/s]	Type vervolgkans	Vervolgkans
< 1.000	< 10	P_D	0,2
		P_V	0,06
		P_E	0,2
1.000 – 10.000	10 – 100	P_D	0,5
		P_V	0,2
		P_E	0,3
> 1.000	> 100	P_D	0,7
		P_V	0,7
		P_E	0,4

P_D : de kans op directe ontsteking van de vrijgezette stof;
 P_V : de kans op vertraagde ontsteking bij afwezigheid van een directe ontsteking;
 P_E : de kans op het optreden van een explosie bij een vertraagde ontsteking.

Voor de volledigheid wordt vermeld dat de gebruiksduur van bijvoorbeeld flexibele slangen en compressoren alsook de aanwezigheidsfractie van tube-trailers en batterijvoertuigen op het station ook in rekening worden gebracht in de risicoanalyse. De gebruiks- of aanwezigheidsfracties worden afgeleid op basis van de beoogde jaarlijkse doorzet van het station, de gehanteerde transferdebieten en/of de nominale compressiedebieten.

III.2.2. Modelling van de gevolgen van ongevalsscenario's

In het deel effectmodellering wordt onderzocht of de beschouwde ongevalsscenario's al dan niet aanleiding kunnen geven tot relevante letale effecten voor personen en tot op welke afstand deze letale effecten zich kunnen manifesteren. De volgende werkwijze wordt daarbij gevolgd:

1. Eerst worden de fysische effecten van de verschillende ongevalsscenario's (m.n. de invallende warmtestraling, de omvang van de brandbare wolk, de overdruk ten gevolge van een explosie) bepaald.
2. Vervolgens worden de gevolgen van deze effecten op onbeschermde personen in de omgeving ingeschat aan de hand van schadefuncties.

In de onderstaande paragrafen worden de rekenmodellen, schadefuncties, bijzondere aannames en resultaten van de effectmodellering toegelicht. De rekenmodellen, schadefuncties en gemaakte aannames zijn, tenzij anders vermeld, in overeenstemming met de bepalingen uit het Handboek Risicoberekeningen [6]. Het gebruik van alternatieve werkwijzen of afwijkende aannames wordt in onderstaande alinea's toegelicht en gemotiveerd.

III.2.2.1. Rekenmodellen en aannames

FAKKELBRAND – De effecten van een fakkelbrand worden berekend met behulp van het '*solid flame surface emitter*' model. Het model gaat uit van een geïdealiseerde vlamgeometrie, m.n. een afgeknotte kegel, die straalt met een uniforme intensiteit. De geometrie van de vlam (o.a. vlamdiameters, vlamlengte, lift-off en hellingshoek) wordt bepaald door de toestand van het vrijgezette product na expansie (jetsnelheid en -diameter) en door de heersende windsnelheid. Afhankelijk van de positie van het lek op de omtrek van een drukhouder of een leiding, treedt bij het ontsteken van de jet een horizontale of verticale fakkelbrand op. Bij het berekenen van het mensrisico wordt steeds uitgegaan van een verticale fakkel.

WOLKBRAND – Indien het vrijgekomen waterstofgas niet direct ontsteekt, kan het gas zich verspreiden in de omgeving en aldaar verdunnen door opmenging met de omgevingslucht. De omvang van de brandbare wolk wordt berekend met het dispersiemodel Slab [8].

Het verspreidingsgedrag van brandbare wolken is afhankelijk van meteorologische condities en omgevingsparameters. De betreffende gegevens worden betrokken uit het Handboek Risicoberekeningen [6] en zijn opgenomen in bijlage 2. Met betrekking tot de ruwheidslengte van het omgevende terrein wordt uitgegaan van een standaardwaarde van 0,3 m⁽⁴⁹⁾.

Voor het scenario wolkbrand wordt in het Handboek Risicoberekeningen [6] vermeld dat standaard moet worden aangenomen dat het schadegebied wordt bepaald door de projectie van de volledige brandbare wolk (afgebakend door de LEL-contour) op de grond. Een uitzondering wordt toegelaten voor wolken waarvan het brandbaar gebied zich beduidend hoger situeert dan het maaiveld. In voorliggend geval is deze uitzondering van toepassing. Omwille van de lage dichtheid van waterstof zal de brandbare gaswolk opstijgen tot mogelijk meerdere tientallen meters boven het maaiveld. Personen op grondniveau zullen bij de ontsteking van de gaswolk geen schade ondervinden van dat gedeelte van de brandbare wolk dat zich op grote hoogte (> 10 m) boven het maaiveld bevindt. Het effectgebied van het scenario wolkbrand bij een vrijzetting van waterstof wordt

⁽⁴⁹⁾ De ruwheidslengte betreft in principe een locatiespecifieke parameter. In deze onderzoeksopdracht wordt een standaardwaarde van 0,3 m gebruikt (i.e. omgeving met verspreide grote obstakels).

daarom bepaald als de verticale projectie van het gedeelte van de brandbare gaswolk dat gelegen is tussen het maaiveld en een hoogte van tien meter.

GASWOLKEXPLOESIE IN OPEN LUCHT – De brandbare massa in de gaswolk wordt bepaald met behulp van het dispersiemodel dat hoger wordt beschreven. De effecten van overdruk worden berekend met de Multi-Energie methode waarbij gebruikgemaakt wordt van de formules die overeenkomen met een explosiecurve 7. De brandbare massa die deelneemt aan de explosie wordt begroot op 12% van de brandbare massa in de wolk. Het explosiecentrum bevindt zich ter hoogte van het geometrisch zwaartepunt van de brandbare wolk op het moment dat de brandbare massa in de wolk maximaal is.

In het Handboek Risicoberekeningen wordt aangegeven dat de brandbare massa bepaald moet worden als de massa die aanwezig is in de wolk tussen de UEL en LEL [6]. Naar analogie met wat hoger bij het scenario wolkbrand wordt beschreven wordt ook bij het bepalen van de brandbare massa rekening gehouden met het opstijgen van waterstof in de atmosfeer. Om aanleiding te geven tot een explosie dient de gaswolk enigszins ingeklemd te zijn door obstakels. Aangezien op grote hoogte de noodzakelijke inklemming niet verwacht wordt zal dit deel van de brandbare massa van de gaswolk ook niet bijdragen tot de overdrukeffecten. Bij de bepaling van de overdrukeffecten wordt daarom uitgegaan van de brandbare massa die zich bevindt tussen het maaiveld en een hoogte van tien meter.

In het Handboek Risicoberekeningen wordt verder aangegeven dat het overdrukeffect horende bij het scenario gaswolkexplosie mag uitgesloten worden als er minder dan 100 kg brandbare massa in de wolk aanwezig is [6]. Omwille van de zeer lage dichtheid, de hoge reactiviteit van waterstof en de hoge turbulentiegraad in de gevormde jets worden de effecten van overdruk in de kwantitatieve risicoanalyse van onderhavig rapport pas uitgesloten wanneer de brandbare massa van de gaswolk minder dan 200 gram bedraagt.

Voor de volledigheid wordt vermeld dat bij een gaswolkexplosie naast de effecten van overdruk ook steeds de effecten van verbranding in rekening worden gebracht.

GASWOLKEXPLOESIE IN BESLOTEN RUIMTE – De brandbare massa die betrokken is bij een gasexplosie in een besloten ruimte wordt bepaald uitgaande van een stoichiometrisch gas/lucht-mengsel in het vrije volume van de betreffende ruimte. De effecten van overdruk worden vervolgens berekend met de Multi-Energie methode waarbij gebruikgemaakt wordt van de formules die overeenkomen met een explosiecurve 8 voor een ruimte zonder explosiedrukontlasting en explosiecurve 4 voor een ruimte met explosiedrukontlasting⁽⁵⁰⁾. Het explosiecentrum bevindt zich in het centrum van de besloten ruimte. Er wordt geen ondergrens gehanteerd voor de brandbare massa die aanleiding geeft tot het optreden van een explosie (met relevante overdrukken) in een besloten ruimte⁽⁵¹⁾.

Bij kleine lekkages (<< 50 g/s) van waterstof in een goed geventileerde ruimte wordt verder aangenomen dat door de aanwezige ventilatie en het snel opstijgen van het vrijgezette waterstofgas als gevolg van de zeer lage dichtheid van het gas slechts een fractie van het vrije volume (ca. 25%) ingenomen wordt door een ontvlambaar gas/lucht-mengsel.

FYSISCHE EXPLOESIE – De effecten van een fysische explosie (zgn. druktankexplosie) worden bepaald met het model van Baker [9]. De belangrijkste parameter in het model betreft de explosie-energie. De theoretische explosie-energie, d.i. de arbeid die door het expanderende fluïdum wordt geleverd, wordt bepaald uitgaande van een isentrope expansie van

⁽⁵⁰⁾ De keuze van explosieklasse 8 en 4 is ingegeven op basis van een verwachte maximale explosieoverdruk ter hoogte van de bron van respectievelijk 2 bar (ruimte zonder explosiedrukontlasting) en 100 mbar (ruimte met explosiedrukontlasting).

⁽⁵¹⁾ Een ondergrens wordt uiteraard wel gevormd door de onderste ontvlambaarheidsgrens van waterstof in lucht (i.e. 4 vol% in lucht). D.w.z. dat er minstens 3,4 g waterstof per m³ vrije ruimte moet vrijkomen om een ontvlambaar mengsel te kunnen vormen in de besloten ruimte.

de faaldruk naar de atmosferische druk. De werkelijke explosie-energie is een fractie van deze die theoretisch beschikbaar is wat typisch in rekening wordt gebracht door een rendementsfactor. In het kader van de voorliggende studie wordt conservatief met een rendement van 100% rekening gehouden. Voor de druktanks, cilinders en gasflessen van het waterstoftankstation wordt een faaldruk aangehouden gelijk aan 1,21 keer de insteldruk van de overdrukbeveiliging⁽⁵²⁾.

VUURBAL – De effecten van een vuurbal worden bepaald door uit te gaan van een bolvormige oppervlaktestraler. De karakteristieken van de vuurbal o.a. de massa, duurtijd, diameter, hoogte en de stralingsintensiteit worden bepaald in overeenstemming met het dynamisch model van Martinsen & Marx [10].

III.2.2.2. Schadefuncties

LETALE RESPONS – De fysische effecten van de in de voorgaande paragraaf besproken ongevalsscenario's, worden in tabel III.2.2.1 opgesomd samen met de gebruikte functies voor de bepaling van de letale respons.

Tabel III.2.2.1: Effecten en letale respons per ongevalsscenario

Ongevalsescenario (fysisch effect)	Letale respons bij bepaling plaatsgebonden mensrisico	Letale respons (pers. binnen) bij bepaling groepsrisico	Letale respons (pers. buiten) bij bepaling groepsrisico
Vuurbal (thermische straling)	binnen vlamgebied: 100% buiten vlamgebied: $P_{\text{letaal, straling}}$	binnen vlamgebied: 100% buiten vlamgebied: 0%	binnen vlamgebied: 100% buiten vlamgebied: $0,14 \times P_{\text{letaal, straling}}$
Fakkelbrand (thermische straling)	binnen vlamgebied: 100% stralings $\geq 35 \text{ kW/m}^2$: 100% stralings $< 35 \text{ kW/m}^2$: $P_{\text{letaal, straling}}$	binnen vlamgebied: 100% stralings $\geq 35 \text{ kW/m}^2$: 100% stralings $< 35 \text{ kW/m}^2$: 0%	binnen vlamgebied: 100% stralings $\geq 35 \text{ kW/m}^2$: 100% stralings $< 35 \text{ kW/m}^2$: $0,14 \times P_{\text{letaal, straling}}$
Wolkbrand (verbranding)	binnen vlamgebied: 100% buiten vlamgebied: 0%	binnen vlamgebied: 100% buiten vlamgebied: 0%	binnen vlamgebied: 100% buiten vlamgebied: 0%
Explosie (overdruk)	Lineair verloopt tussen: 56 mbar - 175 mbar (1-10%) 175 mbar - 550 mbar (10-100%)	Lineair verloopt tussen: 56 mbar - 175 mbar (1-10%) 175 mbar - 550 mbar (10-100%)	overdruk $\geq 1 \text{ bar}$: 100% overdruk $< 1 \text{ bar}$: 0%

(*) $P_{\text{letaal, straling}}$ wordt bepaald met behulp van de functie $Pr = -36,38 + 2,56 \ln(Q^{4/3} t)$, waarin Q de warmteflux [W/m^2] en t de blootstellingsduur [s]

MAXIMALE EFFECTAFSTAND – Om weer te geven tot op welke afstand een bepaald ongevalsscenario een relevante invloed heeft op de in de omgeving aanwezige personen wordt gebruikgemaakt van het begrip 'maximale effectafstand'. De maximale effectafstand komt overeen met de afstand waarop het desbetreffende ongevalsscenario resulteert in 1% letaliteit van blootgestelde personen (buiten of binnen) bij het meest ongunstige weertype. Een letale respons van minder dan 1% wordt als verwaarloosbaar beschouwd. De maximale effectafstand geeft aldus aan tot op welke afstand de effecten van een ongevalsscenario relevant zijn voor het mensrisico. In onderstaande tabel worden de criteria voor de maximale effectafstand per ongevalsscenario vermeld.

Tabel III.2.2.2: Criteria ter bepaling van de max. effectafstand

Ongevalsescenario (fysisch effect)	Criterium voor max. effectafstand (1% letaliteit)
Brand (thermische straling)	$(Q/3 t) = 4,2 \cdot 10^6 \text{ (W/m}^2)^{4/3} \cdot \text{s}$ of $Q = 10 \text{ kW/m}^2$ gedurende $t = 20 \text{ s}$
Wolkbrand (verbranding)	Afstand tot LEL op het moment dat de verticale projectie van de brandbare wolk een maximale oppervlakte heeft

⁽⁵²⁾ De overdrukbeveiliging kan bestaan uit een breekplaat, een veerbelast overdrukventiel (zgn. PRD) of uit een thermisch geactiveerde overdrukbeveiliging zoals een smeltprop (zgn. TPRD).

Ongevalseenario (fysisch effect)	Criterium voor max. effectafstand (1% letaliteit)
Explosie (overdruk)	p = 56 mbar

De effectafstand wordt steeds bepaald vanaf de bron, t.t.z. het lozingspunt.

III.2.2.3. Overzicht van maximale effectafstanden

Een uitgebreid overzicht van de berekende maximale effectafstanden van de ongevals-scenario's die werden bestudeerd voor de verschillende standaard componenten van de beschouwde samenbouwinstallaties wordt gegeven in bijlage 3.

III.3. Resultaten van de kwantitatieve risicoanalyse

Door combinatie van de berekende effecten (letaliteit in functie van afstand tot het ongeval) en de frequenties van optreden van alle in beschouwing genomen ongevals-scenario's wordt het mensrisico dat uitgaat van één bepaalde component of bij uitbreiding van een volledig waterstoftankstation bepaald.

Het berekende mensrisico wordt doorgaans voorgesteld als isorisicocontouren voor het plaatsgebonden mensrisico die worden weergegeven op een kaart van de omgeving (bv. bestemmingsplan of luchtfoto) en als een FN-curve voor het groepsrisico die wordt weergegeven in een dubbel-logaritmisch diagram.

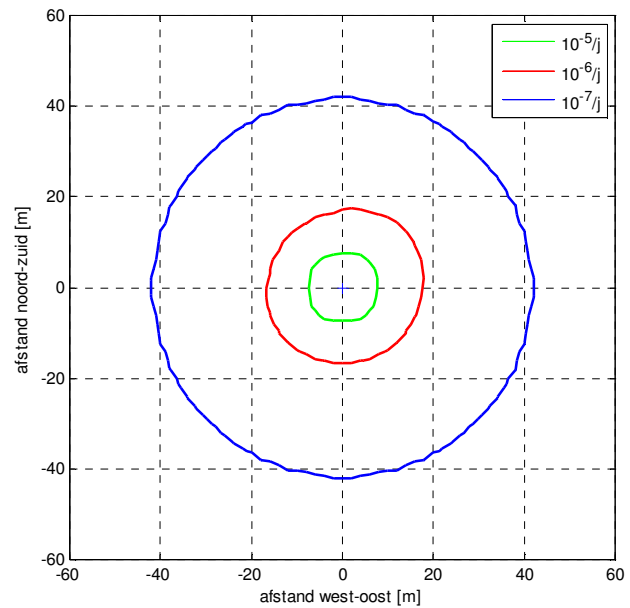
III.3.1. Plaatsgebonden mensrisico

III.3.1.1. Plaatsgebonden mensrisico van de afzonderlijke componenten

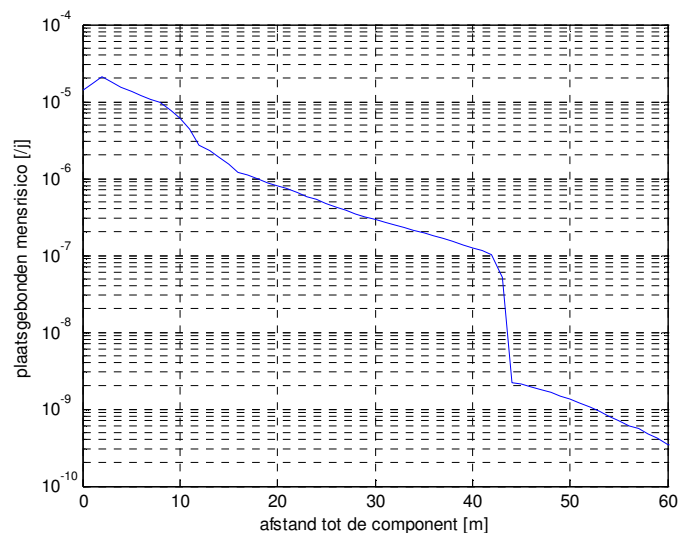
Het plaatsgebonden mensrisico geeft op een bepaalde locatie in de omgeving van een component de kans op overlijden ten gevolge van een zwaar ongeval met die betreffende component en dit voor een persoon die gedurende één jaar permanent (24u/24u) en onbeschermd op die locatie aanwezig is. De isorisicocontouren (IRC's) voor het plaatsgebonden mensrisico worden bekomen door locaties met eenzelfde plaatsgebonden mensrisico (bv. $1 \cdot 10^{-6}$ /jaar) te verbinden.

Het weergeven van IRC's op een kaart (zie figuur III.3.1.1) is in feite een 2-dimensionele voorstelling van het berekende plaatsgebonden mensrisico. Het plaatsgebonden mensrisico van een component kan ook worden weergegeven als een curve in functie van de afstand tot de component, weliswaar gemeten volgens één bepaalde windrichting (zie figuur III.3.1.2). Zo kan op basis van figuur III.3.1.2 worden afgeleid dat een plaatsgebonden mensrisico van $1 \cdot 10^{-5}$ /j, $1 \cdot 10^{-6}$ /j en 10^{-7} /j of meer wordt bereikt tot op een afstand van respectievelijk 7, 18 en 42 m in oostelijke richting van een middendruk buffer die bestaat uit 8 cilinders met een volume van 500 liter.

Figuur III.3.1.1: IRC's van het plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van een middendruk buffer met 8 cilinders van 500 liter (max. 500 bar)

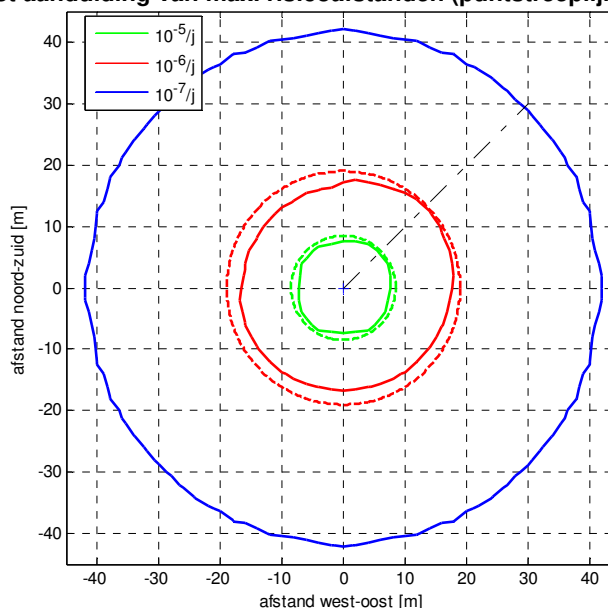


Figuur III.3.1.2: Plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van een middendruk buffer met 8 cilinders van 500 liter, i.f.v. de afstand tot de buffer in oostelijke richting



Bij uitbreiding kan voor alle windrichtingen worden nagegaan tot op welke maximale afstand een plaatsgebonden mensrisico van $1 \cdot 10^{-5}/j$, $1 \cdot 10^{-6}/j$ en $10^{-7}/j$ of meer wordt bereikt. Voor de middendruk buffer uit het hogervermelde voorbeeld wordt een plaatsgebonden mensrisico van $1 \cdot 10^{-5}/j$ en $1 \cdot 10^{-6}/j$ of meer bereikt tot op maximaal 8 m en 19 m van deze component (en dit in noordoostelijke richting). De maximale afstand tot een plaatsgebonden mensrisico van $1 \cdot 10^{-7}/j$ of meer is daarentegen voor alle windrichtingen gelijk en bedraagt 42 m. Dit wordt geïllustreerd in figuur III.3.1.3.

Figuur III.3.1.3: IRC's (volle lijn) van het plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van een middendruk buffer (8x 500 liter) met aanduiding van max. risicoafstanden (puntstreeplijn)



Zoals hierboven toegelicht kunnen de maximale afstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van $1 \cdot 10^{-5}/j$, $1 \cdot 10^{-6}/j$ en $1 \cdot 10^{-7}/j$ (zgn. maximale risicoafstanden) worden bepaald voor de afzonderlijke standaard componenten waaruit waterstoftankstations zijn opgebouwd. Deze maximale risicoafstanden vormen de basis voor de externe scheidingsafstanden die later in de Vlaamse milieuwetgeving kunnen worden opgenomen.

III.3.1.2. Plaatsgebonden mensrisico van een volledig waterstoftankstation

COMPONENTEN OP KORTE AFSTAND VAN ELKAAR – Wanneer de afzonderlijke componenten waaruit een waterstoftankstation is opgebouwd zich op relatief korte afstand van elkaar bevinden, dan kan de werkwijze uit § III.3.1.1 bij uitbreiding gevolgd worden ter bepaling van de gecumuleerde maximale risicoafstanden van het volledige waterstoftankstation. Daarbij wordt voor de eenvoud aangenomen dat de verschillende componenten waaruit het tankstation is opgebouwd op eenzelfde locatie zijn gesitueerd.

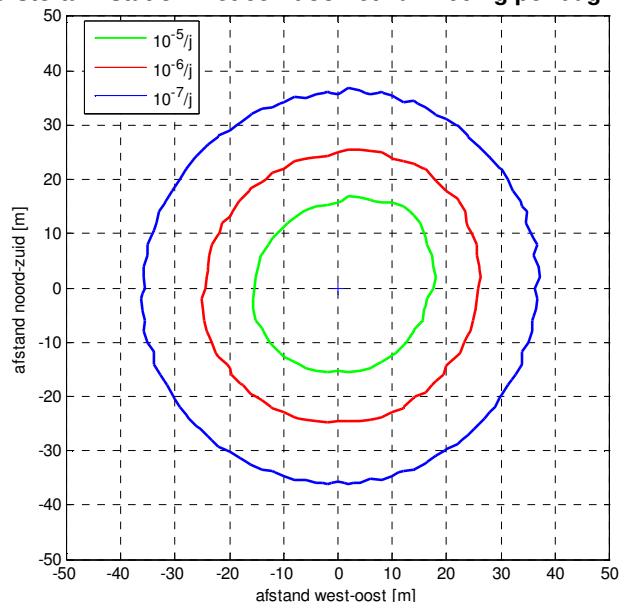
Figuren III.3.1.4 en III.3.1.5 illustreren dit voor een waterstoftankstation met een doorzet van 200 kg per dag, een aanvoer van waterstof via tube-trailers (18x 1.220 liter) op 200 bar, een lagedruk opslag (272x 50 liter) op max. 200 bar, een middendruk buffer (16x 50 liter) op max. 500 bar, een hogedruk buffer (16x 50 liter) op max. 1000 bar en twee compressoren die elk staan opgesteld in een 10 ft container. Waterstof wordt op het station gelost via een flexibele losslang ($\varnothing = 10$ mm) met terugslagklep en afgeleverd aan voertuig op een druk van 700 bar via een verdeelzuil met een gaskoeler, een doorstroombegrenzer en een verdeelslang ($\varnothing = 6$ mm)⁽⁵³⁾.

De maximale afstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van $10^{-5}/j$, $10^{-6}/j$ en $10^{-7}/j$ worden zowel voor de afzonderlijke componenten van het tankstation als voor het volledige tankstation bepaald in paragraaf IV.2.1. De gecumuleerde risicoafstanden voor het volledige tankstation bedragen respectievelijk 20 m ($10^{-5}/j$), 28 m ($10^{-6}/j$) en 38 m ($10^{-7}/j$). Wanneer de verschillende componenten van het tankstation dicht bij elkaar zijn gesitueerd, fungeren deze gecumuleerde risicoafstanden als externe scheidingsafstanden die moeten

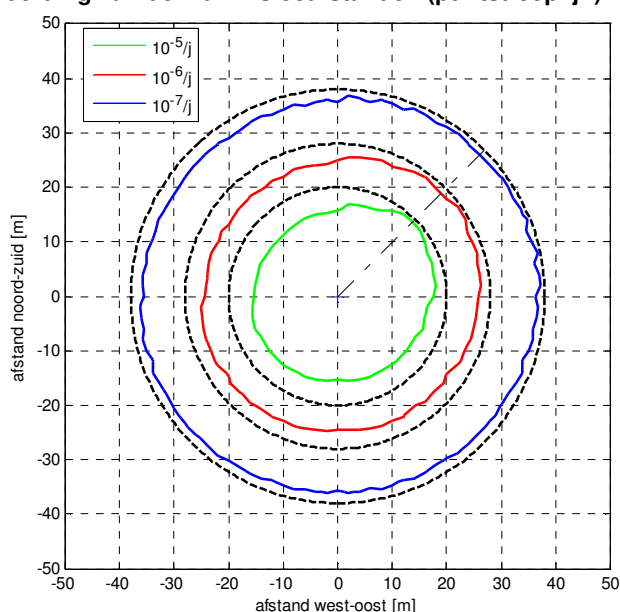
⁽⁵³⁾ De risicocontouren en -profielen die in deze paragraaf worden getoond, werden bepaald op basis van de generieke faalfrequenties voor standaard slangen.

worden aangehouden tussen alle componenten van het waterstoftankstation en de relevante externe aandachtsgedebieden (bv. gebieden met woonfunctie of kwetsbare locaties) of kwetsbare objecten⁽⁵⁴⁾ (bv. bestaande of potentieel te bouwen woningen en gebouwen met regelmatige bezetting door personen).

Figuur III.3.1.4: IRC's van het plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van het hoger beschreven waterstoftankstation met een doorzet van 200 kg per dag



Figuur III.3.1.5: IRC's (volle lijn) van het plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van het hoger beschreven waterstoftankstation met aanduiding van de max. risicoafstanden (puntstreeplijn)



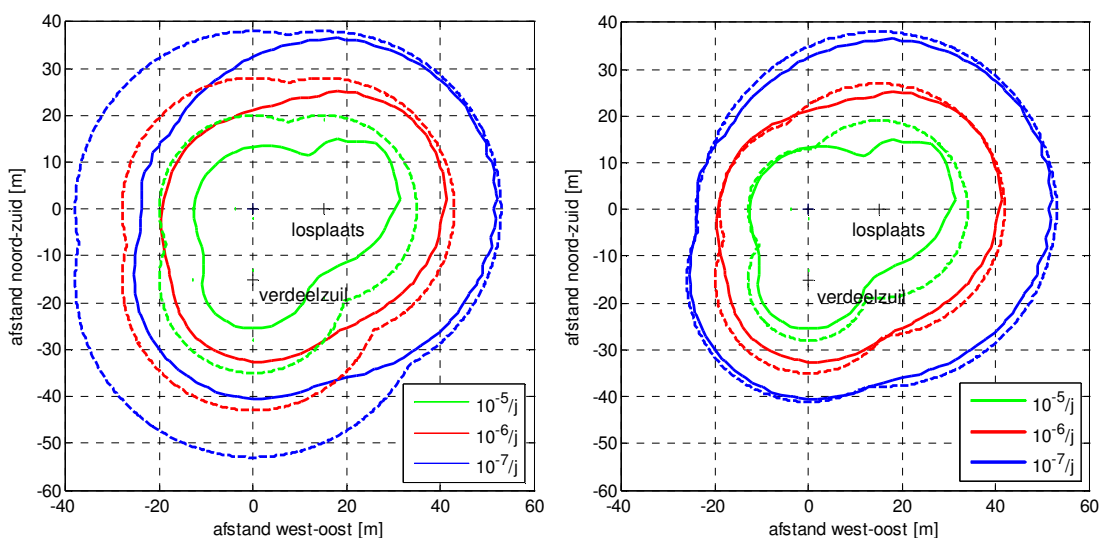
COMPONENTEN OP GROTERE AFSTAND VAN ELKAAR – Wanneer de verschillende componenten of de verschillende functionele delen van het waterstoftankstation (o.a. losplaats tube-trailer, lagedruk opslagbuffer, middendruk compressor met bijhorende buffer, hogedruk compressor met bijhorende buffer en verdeelzuilen) op een zekere afstand van elkaar zijn gesitueerd (> 10 m), dan resulteert het toepassen van de gecumuleerde maximale risicoafstanden vanaf de inplantingslocatie van elke component mogelijk in een aanzienlijke

⁽⁵⁴⁾ Voor zover het waterstoftankstation niet gelegen is in industriegebied.

overschatting van de zones waar het plaatsgebonden mensrisico $10^{-5}/j$, $10^{-6}/j$ en $10^{-7}/j$ of meer bedraagt.

Dit wordt geïllustreerd in figuur III.3.1.6 waarin het berekende plaatsgebonden mensrisico wordt getoond voor het hoger beschreven tankstation, maar waarbij de losplaats voor tube-trailers op een afstand van 15 m (ten oosten) van de opslagbuffers en compressoren is gesitueerd en de verdeelzuil op een afstand van 15 m (ten zuiden) van diezelfde installaties is gesitueerd. In figuur III.3.1.6 (links) zijn verder de gecumuleerde risicoafstanden voor het volledige tankstation uitgezet vanaf de inplantingslocatie van elke component (streeppuntlijn). In figuur III.3.1.6 (rechts) zijn de individuele risicoafstanden van de losplaats en de verdeelzuil uitgezet vanaf de inplantingslocatie van de betreffende component en zijn de gecumuleerde risicoafstanden van de overige componenten uitgezet vanaf de inplantingslocaties van deze componenten (streeplijn).

Figuur III.3.1.6: IRC's (volle lijn) van het bestudeerde waterstoftankstation met aanduiding van de gecumuleerde risicoafstanden (links) en de individuele risicoafstanden (rechts)



Bovenstaande figuren tonen aan dat het voor de gegeven situatie (i.c. de losplaats voor tube-trailers en de verdeelzuil bevinden zich op 15 m van de overige componenten) aangewezen is om voor de losplaats en de verdeelzuil de individuele risicoafstanden te hanteren in plaats van de gecumuleerde risicoafstanden voor het volledige tankstation. De risicoafstanden die werden uitgezet in figuur III.3.1.6 (rechts), worden weergegeven in onderstaande tabel.

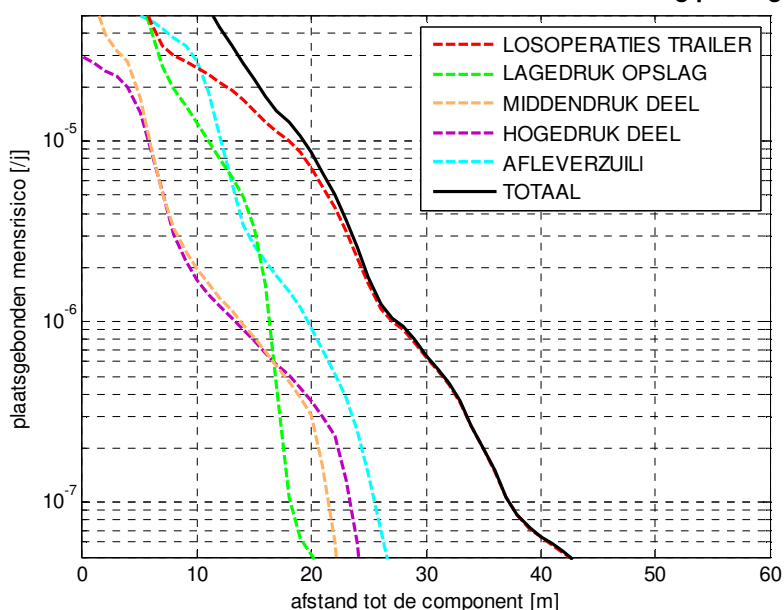
Tabel III.3.1.1: Individuele risicoafstanden voor de tube-trailer losplaats en de verdeelzuil en gecumuleerde risicoafstanden voor de overige componenten

Risicoafstanden voor verschillende delen van een waterstoftankstation	Max. risicoafstanden		
	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$
Losplaats voor tube-trailers (tube-trailers, slang)	19	27	38
Afleverzuil (slang, gaskoeler, leiding)	13	20	26
Overige componenten (lagedruk opslag, compressoren, midden- en hogedruk buffers, leidingen)	13	19	24

III.3.1.3. Relatieve bijdragen van de componenten tot het plaatsgebonden mensrisico van het volledige tankstation

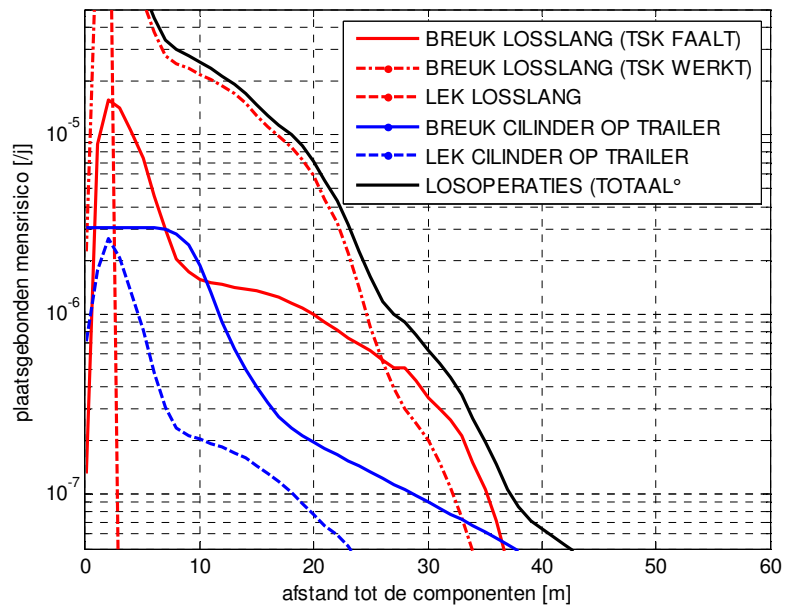
Figuur III.3.1.7 toont de relatieve bijdragen van de verschillende functionele delen van het hoger beschreven waterstoftankstation met een doorzet van 200 kg per dag tot het plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van het volledige tankstation. Op basis van de weergegeven risicoprofielen wordt besloten dat de maximale gecumuleerde risicoafstanden tot $10^{-6}/j$ en $10^{-7}/j$ uitsluitend worden bepaald door het lossen van tube-trailers op het tankstation (zie ook tabel IV.2.1.1). De maximale gecumuleerde risicoafstand tot $10^{-5}/j$ wordt naast het lossen van tube-trailers op het station ook deels bepaald door de gasflessenbatterij (272x 50 liter) die fungeert als lagedruk opslagbuffer en door de afleverzuil.

Figuur III.3.1.7: Plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van het hogerbeschreven waterstoftankstation met een doorzet van 200 kg per dag



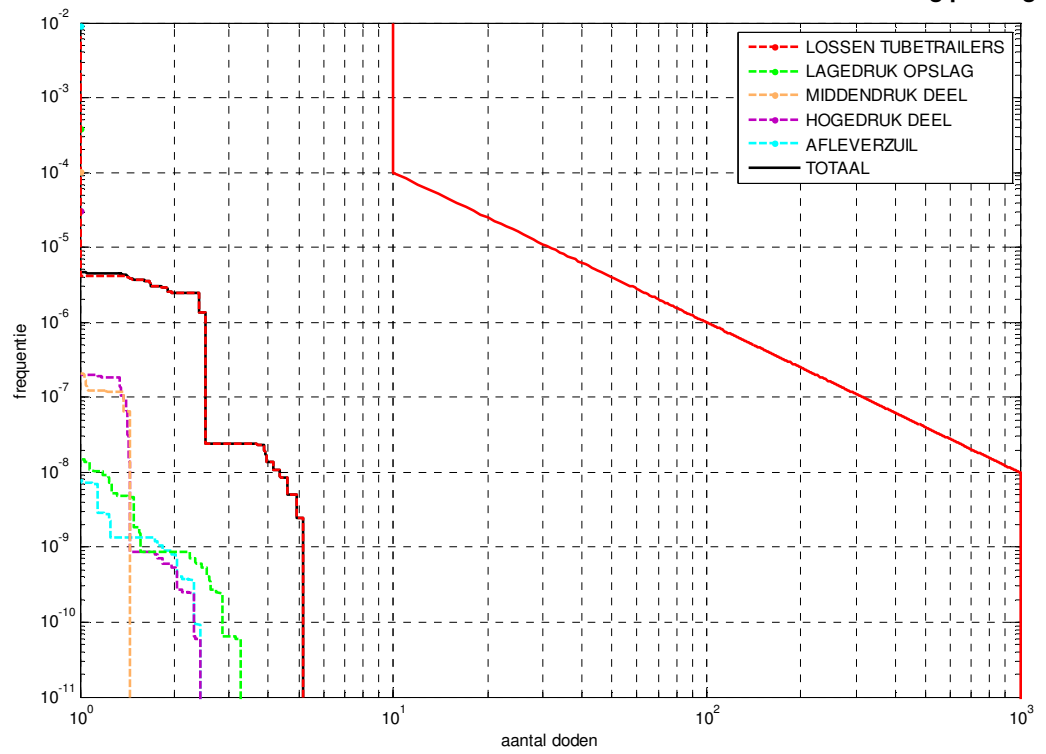
Figuur III.3.1.8 toont de relatieve bijdragen van de verschillende componenten en hun faalwijzen die betrokken zijn bij het lossen van tube-trailers op het station tot het totale plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van de losoperaties. Op basis van de figuur wordt besloten dat de risicoafstand tot $10^{-5}/j$ hoofdzakelijk wordt bepaald door het scenario van een breuk van de losslang met een werkende terugslagklep. De risicoafstanden tot $10^{-6}/j$ en $10^{-7}/j$ worden bijkomend bepaald door het scenario van een breuk van de losslang met een falende terugslagklep en door het scenario van een breuk van een cilinder (tube) op de trailer.

Figuur III.3.1.8: Plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van het lossen van trailers op het tankstation met een doorzet van 200 kg per dag



Figuur III.3.2.1 toont het groepsrisico dat uitgaat van het hoger beschreven waterstof-tankstation in een omgeving met een uniforme populatiedichtheid van 40 personen per hectare, tezamen met het groepsrisico dat uitgaat van de afzonderlijke functionele delen van het station. Uit de figuur blijkt dat het groepsrisico dat uitgaat van het tankstation eerder beperkt is en dat het volledig wordt bepaald door het lossen van tube-trailers op het station. Een meer gedetailleerde analyse van het groepsrisico leert dat het groepsrisico van het bestudeerde tankstation slechts wordt bepaald door twee ongevalsscenario's, nl. door een druktankexplosie van een cilinder (tube) op de trailer en in mindere mate door een gaswolkexplosie na een breuk van een cilinder (tube) op de trailer. Het eerste scenario geeft in een omgeving met een uniforme populatiedichtheid van 40 personen per hectare aanleiding tot ca. 4,2 doden. Het tweede scenario geeft aanleiding tot 3,7 à 5,2 doden.

figuur III.3.2.1: Groepsrisico dat uitgaat van het hogerbeschreven waterstoftankstation met een doorzet van 200 kg per dag



Leeg blad

IV. BEPALEN VAN EXTERNE SCHEIDINGSAFSTANDEN

In dit deel van de studie wordt een overzicht gegeven van de berekende maximale risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van $10^{-5}/j$, $10^{-6}/j$ en $10^{-7}/j$ voor standaard waterstoftankstations. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen maximale risicoafstanden die bepaald werden voor de afzonderlijke componenten die kunnen voorkomen op een waterstoftankstation en de maximale risicoafstanden die gelden voor de volledige waterstofverdeelinstallatie op het station.

Bij het bepalen van de risicoafstanden werd rekening gehouden met diverse sets van meteorologische kansen (zie bijlage 2). De gerapporteerde risicoafstanden zijn deze die bekomen werden voor de meest ongunstige meteoset.

IV.1. Risicoafstanden voor afzonderlijke componenten

In onderstaande paragrafen worden de berekende maximale risicoafstanden voor de afzonderlijke standaard componenten van waterstoftankstations besproken. Voor componenten die in de regel op eenzelfde locatie aanwezig zijn (bv. een tube-trailer of batterijvoertuig en de slang waarmee dit voertuig wordt gekoppeld aan de vaste installatie op het station) worden in dit deel ook reeds gecumuleerde risicoafstanden weergegeven.

IV.1.1. Waterstoftransportleidingen

ONDERGRONDS DEEL VAN EEN TRANSPORTLEIDING – Tabel IV.1.1.1 toont de berekende maximale risicoafstanden voor het ondergronds gedeelte van een waterstoftransportleiding op een tankstation.

Tabel IV.1.1.1: Maximale risicoafstanden voor het ondergronds deel van een waterstoftransportleiding op het tankstation

Type Leiding	sectie van 5 m			sectie van 10 m			sectie van 15 m		
	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$
Transportleiding DN100 op max. 100 bar	0	0	5	0	0	12	0	0	14
Transportleiding DN150 op max. 100 bar	0	0	21	0	0	26	0	0	28

BOVENGRONDS DEEL VAN EEN TRANSPORTLEIDING – Tabel IV.1.1.2 toont de berekende maximale risicoafstanden voor het bovengronds gedeelte van een waterstoftransportleiding op een tankstation.

Tabel IV.1.1.2: Maximale risicoafstanden voor het bovengronds deel van een waterstoftransportleiding op het tankstation

Type Leiding	sectie van 5 m			sectie van 10 m			sectie van 15 m		
	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$
Transportleiding DN100 op max. 100 bar	0	7	21	0	10	28	4	12	36
Transportleiding DN150 op max. 100 bar	0	12	31	0	18	51	5	21	64

ONDER- EN BOVENGRONDS DEEL TRANSPORTLEIDING – Tabel IV.1.1.3 toont de berekende maximale risicoafstanden voor een combinatie van een ondergronds en bovengronds gedeelte van een waterstoftransportleiding op een tankstation. Uit de resultaten blijkt dat het risico dat uitgaat van het ondergronds gedeelte van de transportleiding verwaarloosbaar is ten opzichte van het risico dat uitgaat van het bovengronds gedeelte van de leiding op het station.

Tabel IV.1.1.3: Maximale risicoafstanden voor het volledige gedeelte van een waterstoftransportleiding dat gelegen is op het tankstation

Type Leiding	ondergrondse sectie: 5 m bovengrondse sectie: 5 m			ondergrondse sectie: 10 m bovengrondse sectie: 5 m			ondergrondse sectie: 15 m bovengrondse sectie: 5 m		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
	Transportleiding DN100 op max. 100 bar	0	8	21	0	8	21	0	8	22
Transportleiding DN150 op max. 100 bar	0	14	33	0	16	34	0	17	35

IV.1.2. Lokale productie-eenheden

ELEKTROLYSE-MODULES – Tabel IV.1.2.1 toont de berekende maximale risicoafstanden voor standaard elektrolyse-modules op een waterstoftankstation. Er wordt daarbij een onderscheid gemaakt tussen modules die al dan niet zijn uitgerust met een adequaat explosiedrukontlastingsysteem op de container (bv. explosieluiken).

Tabel IV.1.2.1: Maximale risicoafstanden voor elektrolyse-modules

Omvang van de module	zonder explosiedrukontlasting						met explosiedrukontlasting					
	1 stuk			2 stuks			1 stuk			2 stuks		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
1x 20ft high cube container (capaciteit: ≤ 30 Nm ³ /h)	0	11	23	6	13	26	0	0	6	0	0	7
1x 30ft high cube container (capaciteit: ≤ 50 Nm ³ /h)	0	12	26	6	15	29	0	0	7	0	0	8
1x 40ft high cube container (capaciteit: ≤ 100 Nm ³ /h)	0	13	28	7	16	32	0	0	7	0	0	9
2x 40ft high cube container (capaciteit: ≤ 500 Nm ³ /h)	0	16	36	9	21	40	0	0	9	0	0	11

STOOMREFORMER-MODULES – Tabel IV.1.2.2 toont de berekende maximale risicoafstanden voor standaard stoomreformer-modules op een waterstoftankstation. Opnieuw wordt een onderscheid gemaakt tussen modules die al dan niet zijn uitgerust met een adequaat explosiedrukontlastingsysteem op de container (bv. explosieluiken).

Tabel IV.1.2.2: Maximale risicoafstanden voor stoomreformer-modules

Omvang van de module	zonder explosiedrukontlasting						met explosiedrukontlasting					
	1 stuk			2 stuks			1 stuk			2 stuks		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
1x 20ft container (capaciteit: ≤ 50 Nm ³ /h)	12	27	29	16	28	38	0	7	9	0	8	10
1x 40ft container (capaciteit: ≤ 150 Nm ³ /h)	15	34	37	20	35	47	0	9	11	0	10	12

IV.1.3. Tube-trailers en batterijvoertuigen en bijhorende losinstallaties

TRANSPORTVOERTUIGEN – Tabellen IV.1.3.1 en IV.1.3.2 tonen de berekende maximale risicoafstanden voor standaard tube-trailers en batterijvoertuigen tijdens hun verblijf op het tankstation. De verblijftijd van de trailer op het station is afhankelijk van meerdere parameters waaronder de doorzet van het station, de diameter van de losslang en het type trailer. In onderstaande tabel worden de risicoafstanden gegeven voor een verblijftijd van 250, 500 en 1.000 uren per jaar. Verder zijn de risicoafstanden ook bepaald voor een permanent verblijf van de trailer op het tankstation. Voor andere waarden van de verblijftijd kunnen de risicoafstanden die uitgaan van de aanwezigheid van de trailer op het station worden bepaald via de softwaretool.

Tabel IV.1.3.1: Maximale risicoafstanden voor het verblijf van standaard tube-trailers op een waterstoftankstation (verbonden met een overdrukbeveiliging)

Type trailer of batterijvoertuig	250 u/jaar			500 u/jaar			1.000 u/jaar			permanent		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Tube-trailer 18 x 1.220 liter op 200 bar	0	5	17	0	10	23	0	12	29	12	28	46
Tube-trailer 16 x 1.310 liter op 200 bar	0	4	16	0	10	22	0	12	28	12	27	48
Tube-trailer 14 x 1.370 liter op 200 bar	0	3	16	0	9	21	0	12	27	12	26	47
Tube-trailer 11 x 1.950 liter op 200 bar	0	0	16	0	6	20	0	13	27	12	26	53
Tube-trailer 9 x 2.330 liter op 200 bar	0	0	16	0	5	20	0	13	26	12	24	57
Tube-trailer op 200 bar (conservatief)	0	5	17	0	10	23	0	13	29	12	28	57

Tabel IV.1.3.2: Maximale risicoafstanden voor het verblijf van standaard batterijvoertuigen op een waterstoftankstation (verbonden met een overdrukbeveiliging)

Type trailer of batterijvoertuig	250 u/jaar			500 u/jaar			1.000 u/jaar			permanent		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Batterijvoertuig 350 x 50 liter op 200 bar	4	7	16	5	10	17	6	13	17	13	17	19
Batterijvoertuig 295 x 85 liter op 200 bar	4	8	19	5	11	20	6	15	20	14	20	21
Batterijvoertuig 105 x 350 liter op 200 bar	1	9	22	4	11	28	7	15	30	14	29	31
Batterijvoertuig 224 x 165 liter op 200 bar	3	10	22	6	14	24	7	17	24	16	24	26
Batterijvoertuig 155 x 315 liter op 200 bar	3	10	25	6	13	29	8	17	30	16	30	32
Batterijvoertuig op 200 bar (conservatief)	4	10	25	6	14	29	8	17	30	16	30	32
Batterijvoertuig 105 x 350 liter op 500 bar	1	12	29	5	16	36	9	22	39	20	39	41
Batterijvoertuig 224 x 165 liter op 500 bar	3	14	29	8	19	30	9	24	31	24	31	36
Batterijvoertuig 155 x 315 liter op 500 bar	3	13	32	8	19	37	10	24	38	23	38	40
Batterijvoertuig op 500 bar (conservatief)	3	14	32	8	19	37	10	24	39	24	39	41

Indien het niet geweten is met welk type van tube-trailer of batterijvoertuig het waterstoftankstation zal worden bevoorrad, dan dient bij het bepalen van de risicoafstanden te worden uitgegaan van een maximaal (conservatief) risicoprofiel. In bovenstaande tabellen alsook in de bijhorende softwaretool zijn risicoafstanden opgenomen voor een conservatief tube-trailertype op 200 bar en twee conservatieve batterijvoertuigtypes, één op 200 bar en één op 500 bar.

LOSSLANGEN – Tabellen IV.1.3.3 en IV.1.3.4 tonen de berekende maximale risicoafstanden voor losslangen (voorzien van een terugslagklep en een doorstroombegrenzer) die worden aangewend voor het lossen van tube-trailers en batterijvoertuigen op een tankstation. De jaarlijkse gebruiksduur van de losslang is opnieuw functie van meerdere parameters, waaronder de doorzet van het station, de diameter van de losslang en het type trailer. In onderstaande tabellen worden de risicoafstanden gegeven voor een gebruiksduur van 250, 500, 750 en 1.000 uren per jaar. Voor andere waarden van de gebruiksduur kunnen de risicoafstanden die uitgaan van het gebruik van een flexibele losslang op het station worden bepaald via de softwaretool.

Tabel IV.1.3.3: Maximale risicoafstanden voor het gebruik van standaard losslangen, voorzien van een terugslagklep en een doorstroombegrenzer

Type losslang	250 u/jaar			500 u/jaar			750 u/jaar			1.000 u/jaar		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Slang Ø _n = 6 mm (200 bar)	4	12	15	9	12	18	10	13	19	11	13	20
Slang Ø _n = 8 mm (200 bar)	8	15	24	12	17	27	13	18	28	13	20	28
Slang Ø _n = 10 mm (200 bar)	10	18	30	14	22	33	15	24	34	16	25	34
Slang Ø _n = 12 mm (200 bar)	12	21	36	16	27	39	17	30	40	17	31	41
Slang Ø _n = 6 mm (500 bar)	8	15	25	13	17	28	13	19	29	14	21	29
Slang Ø _n = 8 mm (500 bar)	11	20	34	15	25	37	16	28	38	17	29	39
Slang Ø _n = 10 mm (500 bar)	14	26	43	18	32	46	19	36	48	20	38	49
Slang Ø _n = 12 mm (500 bar)	16	31	52	20	40	55	21	44	56	22	47	57

Tabel IV.1.3.4: Maximale risicoafstanden voor het gebruik van LPG-losslangen, voorzien van een terugslagklep en een doorstroombegrenzer

Type loslang	250 u/jaar			500 u/jaar			750 u/jaar			1.000 u/jaar		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Slang Ø _{in} = 6 mm (200 bar)	3	7	12	3	10	13	3	11	13	3	11	14
Slang Ø _{in} = 8 mm (200 bar)	3	10	15	3	13	18	3	13	20	4	14	21
Slang Ø _{in} = 10 mm (200 bar)	3	13	19	3	15	23	3	16	25	4	16	26
Slang Ø _{in} = 12 mm (200 bar)	3	15	24	3	16	29	4	17	31	5	18	32
Slang Ø _{in} = 6 mm (500 bar)	3	11	16	3	13	19	3	14	21	4	14	22
Slang Ø _{in} = 8 mm (500 bar)	3	14	22	3	16	27	4	17	29	5	18	30
Slang Ø _{in} = 10 mm (500 bar)	3	17	28	3	19	35	4	20	38	6	21	39
Slang Ø _{in} = 12 mm (500 bar)	3	19	35	4	21	43	5	22	47	7	25	49

KOPPELSLANGEN – Tabellen IV.1.3.5 en IV.1.3.6 tonen de berekende maximale risicoafstanden voor koppelslangen (voorzien van een terugslagklep en een doorstroombegrenzer) die worden aangewend voor het koppelen van tube-trailers of batterijvoertuigen aan de vaste installaties op een tankstation⁽⁵⁵⁾. Het jaarlijkse aantal wisseloperaties is afhankelijk van de doorzet van het station en de capaciteit van de trailer. In onderstaande tabellen worden de risicoafstanden gegeven voor 150, 300, 450 en 600 wisseloperaties per jaar. Voor een ander aantal operaties kunnen de risicoafstanden die uitgaan van het gebruik van een flexibele koppelslang op het station worden bepaald via de softwaretool.

Tabel IV.1.3.5: Maximale risicoafstanden voor het gebruik van standaard koppelslangen, voorzien van een terugslagklep en een doorstroombegrenzer

Type koppelslang	150 operaties/jaar			300 operaties/jaar			450 operaties/jaar			600 operaties/jaar		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Slang Ø _{in} = 6 mm (200 bar)	3	11	14	6	12	16	9	12	18	10	13	19
Slang Ø _{in} = 8 mm (200 bar)	4	14	22	10	15	25	12	16	27	13	17	27
Slang Ø _{in} = 10 mm (200 bar)	5	17	27	12	19	31	14	21	33	15	22	33
Slang Ø _{in} = 12 mm (200 bar)	8	26	50	14	23	37	16	26	39	16	28	40
Slang Ø _{in} = 6 mm (500 bar)	4	15	23	10	16	26	12	17	28	13	18	28
Slang Ø _{in} = 8 mm (500 bar)	6	18	31	14	22	35	15	25	37	16	26	38
Slang Ø _{in} = 10 mm (500 bar)	7	22	40	16	28	44	18	32	46	18	35	47
Slang Ø _{in} = 12 mm (500 bar)	8	26	50	19	34	53	20	39	55	20	42	56

Tabel IV.1.3.6: Maximale risicoafstanden voor het gebruik van LPG-koppelslangen, voorzien van een terugslagklep en een doorstroombegrenzer

Type koppelslang	150 operaties/jaar			300 operaties/jaar			450 operaties/jaar			600 operaties/jaar		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Slang Ø _{in} = 6 mm (200 bar)	3	7	12	3	9	13	3	10	13	3	11	13
Slang Ø _{in} = 8 mm (200 bar)	3	10	15	3	12	17	3	13	18	3	13	19
Slang Ø _{in} = 10 mm (200 bar)	3	12	19	3	14	22	3	15	23	3	15	24
Slang Ø _{in} = 12 mm (200 bar)	3	14	22	3	16	27	3	16	29	3	17	30
Slang Ø _{in} = 6 mm (500 bar)	3	12	16	3	13	18	3	13	19	3	14	20
Slang Ø _{in} = 8 mm (500 bar)	3	14	22	3	16	26	3	16	27	3	17	29
Slang Ø _{in} = 10 mm (500 bar)	3	16	27	3	18	32	3	19	36	4	19	37
Slang Ø _{in} = 12 mm (500 bar)	3	18	33	3	20	39	4	21	43	5	22	46

VOLLEDIGE LOSINSTALLATIE – Tabellen IV.1.3.7 en IV.1.3.8 tonen de berekende maximale risicoafstanden voor het lossen van klassieke tube-trailers (18x 1.220 liter, 200 bar) en batterijvoertuigen (155x 315 liter, 500 bar) via een flexibele slang (Ø = 10 mm) met een doorstroombegrenzer en terugslagklep. De duur van een losoperatie wordt geraamd op 60

⁽⁵⁵⁾ Een tube-trailer of batterijvoertuig wordt in dit geval gebruikt als een verwisselbare lagedruk opslagbuffer voor het tankstation. Onder de gegeven omstandigheden is een trailer of een batterijvoertuig bijgevolg permanent aanwezig op het station.

minuten voor de tube-trailer en 30 minuten voor het batterijvoertuig. De verblijftijd van de tube-trailer (200 bar) en het batterijvoertuig (500 bar) op het tankstation wordt geraamd op respectievelijk 90 en 60 minuten per operatie.

Tabel IV.1.3.7: Maximale risicoafstanden voor het lossen van transportvoertuigen op het station, uitgaande van standaard losslangen met terugslagklep en doorstroombegrenzer

Type losoperatie	125 operaties/jaar			250 operaties/jaar			500 operaties/jaar			1.000 operaties/jaar		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Lossen tube-trailer 18 x 1.220 liter via slang met Ø _{in} = 10 mm (200 bar)	4	16	27	11	19	32	14	22	34	16	26	36
Lossen batterijvoertuig 155 x 315 liter via slang met Ø _{in} = 10 mm (500 bar)	4	19	37	9	23	39	16	29	43	18	36	46

Tabel IV.1.3.8: Maximale risicoafstanden voor het lossen van transportvoertuigen op het station, uitgaande van LPG-losslangen met terugslagklep en doorstroombegrenzer

Type losoperatie	125 operaties/jaar			250 operaties/jaar			500 operaties/jaar			1.000 operaties/jaar		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Lossen tube-trailer 18 x 1.220 liter via slang met Ø _{in} = 10 mm (200 bar)	3	10	20	3	14	24	3	16	30	8	18	35
Lossen batterijvoertuig 155 x 315 liter via slang met Ø _{in} = 10 mm (500 bar)	3	12	28	4	17	35	9	21	38	11	26	39

Tabellen IV.1.3.9 en IV.1.3.10 tonen de berekende maximale risicoafstanden voor het gebruik van tube-trailers (18x 1.220 liter, 200 bar) en batterijvoertuigen (155x 315 liter, 500 bar) als een verwisselbare lagedruk opslagbuffer van het station. De transportvoertuigen zijn permanent aanwezig op het station en worden aangekoppeld aan de vaste installaties via een koppelslang met een interne diameter van 10 mm.

Tabel IV.1.3.9: Maximale risicoafstanden voor het aankoppelen van transportvoertuigen op het station via standaard koppelslangen met terugslagklep en doorstroombegrenzer

Type wisseloperatie	75 operaties/jaar			150 operaties/jaar			300 operaties/jaar			600 operaties/jaar		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Koppelen tube-trailer 18 x 1.220 liter via slang met Ø _{in} = 10 mm (200 bar)	13	28	46	14	29	46	15	29	46	16	30	46
Type wisseloperatie	20 operaties/jaar			40 operaties/jaar			80 operaties/jaar			160 operaties/jaar		
Type wisseloperatie	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Koppelen batterijvoertuig 155 x 315 l via slang met Ø _{in} = 10 mm (500 bar)	24	38	41	24	38	42	24	38	45	25	39	48

Tabel IV.1.3.10: Maximale risicoafstanden voor het aankoppelen van transportvoertuigen op het station via LPG-koppelslangen met terugslagklep en doorstroombegrenzer

Type wisseloperatie	75 operaties/jaar			150 operaties/jaar			300 operaties/jaar			600 operaties/jaar		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Koppelen tube-trailer 18 x 1.220 liter via slang met Ø _{in} = 10 mm (200 bar)	12	28	46	12	28	46	13	28	46	13	28	46
Type wisseloperatie	20 operaties/jaar			40 operaties/jaar			80 operaties/jaar			160 operaties/jaar		
Type wisseloperatie	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Koppelen batterijvoertuig 155 x 315 l via slang met Ø _{in} = 10 mm (500 bar)	23	38	40	24	38	40	24	38	40	24	38	41

IV.1.4. Lagedruk opslag

VASTE DRUKTANKS – Tabel IV.1.4.1 toont de berekende maximale risicoafstanden voor standaard druktanks met een volume van 50 en 100 m³ en een maximale werkingsdruk van 50 bar.

Tabel IV.1.4.1: Maximale risicoafstanden voor vaste druktanks (max. 50 bar)

Type druktank	1 stuk			2 stuks		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Ondergrondse druktank van 50 m ³ (210 kg)	0	5	24	3	6	27
Ondergrondse druktank van 75 m ³ (315 kg)	0	5	27	3	6	31
Ondergrondse druktank van 100 m ³ (420 kg)	0	5	30	3	6	34
Ondergrondse druktank van 125 m ³ (525 kg)	0	5	32	3	6	37
Ondergrondse druktank van 150 m ³ (630 kg)	0	5	34	3	6	39
Bovengrondse druktank van 50 m ³ (210 kg)	0	6	27	3	15	33
Bovengrondse druktank van 75 m ³ (315 kg)	0	7	31	3	15	38
Bovengrondse druktank van 100 m ³ (420 kg)	0	7	34	3	16	42
Bovengrondse druktank van 125 m ³ (525 kg)	0	7	37	3	16	45
Bovengrondse druktank van 150 m ³ (630 kg)	0	8	40	3	17	48

GASFLESBATTERIJEN – Tabel IV.1.4.2 toont de berekende maximale risicoafstanden voor een of meerdere gasflesbatterijen met een maximale werkingsdruk van 200 bar en een totale capaciteit tussen ca. 50 en 200 kg.

Tabel IV.1.4.2: Maximale risicoafstanden voor gasflesbatterijen (max. 200 bar)

Configuratie van de gasflesbatterij	1 stuk			2 stuks			4 stuks		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
64 gasflessen van 50 liter (48,5 kg)	6	15	18	8	16	18	11	17	18
40 gasflessen van 80 liter (48,5 kg)	6	15	20	8	18	21	11	19	21
20 gasflessen van 150 liter (45,5 kg)	6	14	24	8	19	25	9	23	25

CILINDERBATTERIJEN – Tabel IV.1.4.3 toont de berekende maximale risicoafstanden voor een of meerdere cilinderbatterijen met een maximale werkingsdruk van 200 bar en een totale capaciteit van respectievelijk 50 en 315 kg.

Tabel IV.1.4.3: Maximale risicoafstanden voor cilinderbatterijen (max. 200 bar)

Configuratie van de cilinderbatterij	1 stuk			2 stuks			3 stuks		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
3 drukcilinders van 1.100 liter (50 kg)	0	14	32	6	17	40	10	21	43
3 drukcilinders van 1.700 liter (77,3 kg)	0	15	37	6	19	47	11	23	51
3 drukcilinders van 2.300 liter (105 kg)	0	17	40	6	21	51	12	24	55

Op basis van bovenstaande resultaten wordt afgeleid dat de risicoafstanden tot 10⁻⁵/j en 10⁻⁶/j het kleinst zijn voor een opslag die wordt gerealiseerd in een vaste druktank⁽⁵⁶⁾. Een opslag in de vorm van gasflesbatterijen geeft voor eenzelfde opslagcapaciteit grotere risicoafstanden tot 10⁻⁵/j en kleinere risicoafstanden tot 10⁻⁷/j in vergelijking met een opslag die bestaat uit cilinderbatterijen⁽⁵⁷⁾.

⁽⁵⁶⁾ Dit volgt uit een vergelijking van de risicoafstanden die uitgaan van een bovengrondse of ondergrondse druktank van 50 m³ (210 kg), 4 stuks gasflesbatterijen (+/- 190 kg) en driemaal drie drukcilinders van 1.700 liter (+/- 230 kg).

⁽⁵⁷⁾ Het plaatsgebonden mensrisico wordt hoofdzakelijk bepaald door het scenario van een druktankexplosie van een gasfles of een cilinder. De kans op een druktankexplosie is evenredig met het aantal gasflessen of cilinders in de opslag. Bijgevolg wordt het plaatsgebonden mensrisico van 10⁻⁵/j voor een omvangrijke gasflesbatterij bereikt op een afstand waar de letaliteit lager is dan voor een kleiner aantal cilinders. Het plaatsgebonden mensrisico van 10⁻⁷/j wordt daarentegen bereikt op de locatie waar de letaliteit van het betreffende scenario 1% (of minder) bedraagt. Deze afstand neemt toe met het volume van de gasfles of cilinder in de opslag.

IV.1.5. Middendruk en hogedruk buffer

Onderstaande tabellen tonen de berekende maximale risicoafstanden voor bepaalde configuraties van een middendruk en een hogedruk buffer die kan voorkomen op een waterstofkstation. De maximale risicoafstanden voor andere configuraties van een middendruk en een hogedruk buffer kunnen worden bepaald met behulp van de softwaretool.

MIDDENDRUK BUFFER – Tabel IV.1.5.1 toont de berekende maximale risicoafstanden voor een middendruk met een capaciteit tussen 25 en 120 kg buffer die bestaat uit een of meerdere gasflesbatterijen of enkele cilinders. De maximale druk in de buffer bedraagt 500 bar.

Tabel IV.1.5.1: Maximale risicoafstanden voor een middendruk buffer (max. 500 bar) die bestaat uit enkele gasflesbatterijen of cilinders

Configuratie van de gasflesbatterij	1 stuk			2 stuks			4 stuks		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
16 gasflessen van 50 liter (24,9 kg)	6	11	22	7	16	22	8	19	23
4 drukcilinders van 250 liter (31,1 kg)	0	12	29	7	17	34	9	23	36
2 drukcilinders van 500 liter (31,1 kg)	0	12	27	3	15	36	9	19	43
1 drukcilinder van 1.000 liter (31,1 kg)	0	12	30	0	15	40	0	19	46

HOGEDRUK BUFFER – Tabel IV.1.5.2 toont de berekende maximale risicoafstanden voor een hogedruk buffer met een capaciteit tussen 10 en 50 kg die bestaat uit enkele gasflessen of cilinders. De maximale druk in de buffer bedraagt 1.000 bar.

Tabel IV.1.5.2: Maximale risicoafstanden voor een hogedruk buffer (max. 1.000 bar) die bestaat uit enkele gasflessen of cilinders

Configuratie van de gasflesbatterij	1 stuk			2 stuks			4 stuks		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
4 gasflessen van 50 liter (9,6 kg)	0	8	19	4	9	23	6	13	24
3 gasflessen van 80 liter (11,5 kg)	0	8	20	0	10	26	6	13	27
1 drukcilinder van 250 liter (12,0 kg)	0	9	24	0	11	31	0	14	36

Bovenstaande resultaten tonen aan dat een buffer die bestaat uit gasflessen resulteert in grotere risicoafstanden tot 10⁻⁵/j en kleinere risicoafstanden tot 10⁻⁷/j in vergelijking met een buffer van eenzelfde capaciteit die bestaat uit cilinders. De risicoafstand tot 10⁻⁶/j varieert weinig in functie van de samenstelling van de buffer.

IV.1.6. Compressoren

Tabel IV.1.6.1 toont de berekende maximale risicoafstanden voor compressoren die gedurende tweeënhalve, vijf of tien uren per dag in gebruik zijn en staan opgesteld in een besloten ruimte (container), voorzien van een automatisch noodstopstelsel dat wordt geactiveerd op basis van gasdetectie in de ruimte. De maximale risicoafstanden zijn afhankelijk van het volume van de container en van het al dan niet aanwezig zijn van een explosiedrukontlastingsstelsel (explosieluiken) op de container.

Tabel IV.1.6.1: Maximale risicoafstanden voor een compressor in een goed geventileerde besloten ruimte (container) met een automatisch noodstopstelsel

Behuizing van de compressor (brutovolume)	2,5 h/dag			5 h/dag			10 h/dag		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
10ft container zonder drukontlasting	0	6	13	0	8	18	0	9	21
20ft container zonder drukontlasting	0	8	17	0	9	22	0	11	27
30ft container zonder drukontlasting	0	9	19	0	11	25	0	13	31
40ft container zonder drukontlasting	0	10	21	0	12	28	0	14	33

Behuizing van de compressor (brutovolume)	2,5 h/dag			5 h/dag			10 h/dag		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
10ft container met drukontlasting	0	0	3	0	0	5	0	0	6
20ft container met drukontlasting	0	0	3	0	0	6	0	0	7
30ft container met drukontlasting	0	0	3	0	0	6	0	0	8
40ft container met drukontlasting	0	0	3	0	0	7	0	0	9

IV.1.7. Verdeelzuilen met vulslangen

AFLEVERING OP 350 BAR – Tabellen IV.1.7.1 en IV.1.7.2 tonen de berekende maximale risicoafstanden voor vulslangen die worden gebruikt voor de aflevering van waterstof op een druk van 350 bar in functie van de diameter van de slang en de jaarlijkse gebruiksduur. Bij het bepalen van de risicoafstanden werd rekening gehouden met de aanwezigheid van een doorstroombegrenzer (reactietijd: 1 s) in de verdeelzuil.

Tabel IV.1.7.1: Maximale risicoafstanden voor standaard vulslangen (350 bar), voorzien van een doorstroombegrenzer in de verdeelzuil

Diameter vulslang	150 uren/jaar			300 uren/jaar			600 uren/jaar			1.200 uren/jaar		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Slang Ø _{in} = 6 mm (350 bar)	3	11	13	4	11	13	9	12	14	10	12	15
Slang Ø _{in} = 8 mm (350 bar)	3	14	22	10	15	25	12	18	26	13	21	27
Slang Ø _{in} = 10 mm (350 bar)	4	16	29	11	18	32	14	23	33	15	28	34
Slang Ø _{in} = 12 mm (350 bar)	5	18	36	13	22	39	16	29	41	17	35	43

Tabel IV.1.7.2: Maximale risicoafstanden voor LPG-vulslangen (350 bar), voorzien van een doorstroombegrenzer in de verdeelzuil

Diameter vulslang	150 uren/jaar			300 uren/jaar			600 uren/jaar			1.200 uren/jaar		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Slang Ø _{in} = 6 mm (350 bar)	3	3	11	3	7	12	3	10	12	3	11	13
Slang Ø _{in} = 8 mm (350 bar)	3	5	14	3	11	16	3	13	20	4	14	23
Slang Ø _{in} = 10 mm (350 bar)	3	7	17	3	13	20	3	15	26	5	16	30
Slang Ø _{in} = 12 mm (350 bar)	3	8	19	3	15	24	3	16	31	6	18	37

AFLEVERING OP 700 BAR – Tabellen IV.1.7.3 en IV.1.7.4 tonen de berekende maximale risicoafstanden voor vulslangen die worden gebruikt voor de aflevering van waterstof op een druk van 700 bar in functie van de diameter van de slang en de jaarlijkse gebruiksduur. Bij het bepalen van de risicoafstanden werd rekening gehouden met de aanwezigheid van een doorstroombegrenzer (reactietijd: 1 s) in de verdeelzuil.

Tabel IV.1.7.3: Maximale risicoafstanden voor standaard vulslangen (700 bar), voorzien van een doorstroombegrenzer in de verdeelzuil

Diameter vulslang	150 uren/jaar			300 uren/jaar			600 uren/jaar			1.200 uren/jaar		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Slang Ø _{in} = 6 mm (700 bar)	3	13	21	9	14	24	12	17	25	13	21	26
Slang Ø _{in} = 8 mm (700 bar)	4	16	31	12	19	33	14	24	34	16	29	36
Slang Ø _{in} = 10 mm (700 bar)	6	19	39	15	23	43	17	31	46	18	38	48

Tabel IV.1.7.4: Maximale risicoafstanden voor LPG-vulslangen (700 bar), voorzien van een doorstroombegrenzer in de verdeelzuil

Diameter vulslang	150 uren/jaar			300 uren/jaar			600 uren/jaar			1.200 uren/jaar		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Slang Ø _{in} = 6 mm (700 bar)	3	5	14	3	11	15	3	12	19	4	13	22
Slang Ø _{in} = 8 mm (700 bar)	3	7	17	3	14	21	3	15	27	5	16	31
Slang Ø _{in} = 10 mm (700 bar)	3	9	20	3	16	27	4	17	34	6	19	40

IV.1.8. Verbindingsleidingen

Onderstaande tabellen tonen de berekende maximale risicoafstanden voor starre of flexibele bovengrondse verbindingen op het tankstation. Het betreffen leidingen tussen een lokale productie-eenheid en een middendruk compressor ($p \leq 30$ bar), tussen een lagedruk opslagbuffer, een tube-trailer of batterijvoertuig en een compressor ($p \leq 200$ bar), tussen een middendruk compressor, een middendruk buffer en een verdeelzuil voor de aflevering op 350 bar ($p \leq 500$ bar) en leidingen tussen een hogedruk compressor, een hogedruk buffer en een verdeelzuil voor de aflevering op 700 bar ($p \leq 1.000$ bar). Bij het bepalen van de maximale risicoafstanden werd aangenomen dat de leidingen permanent in gebruik zijn en werd rekening gehouden met de aanwezigheid van een terugslagklep (reactietijd: 1 s) op het einde van de leidingen.

Tabel IV.1.8.1: Maximale risicoafstanden voor de bovengrondse verbindingen op het tankstation op een druk van max. 30 bar

Type Leiding	sectie van 5 m			sectie van 10 m			sectie van 20 m		
	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$
Verbindingsleiding $\varnothing_{in} = 12$ mm (30 bar)	1	3	5	2	3	6	2	4	8
Verbindingsleiding $\varnothing_{in} = 16$ mm (30 bar)	1	3	5	2	4	8	2	4	12
Verbindingsleiding $\varnothing_{in} = 20$ mm (30 bar)	2	3	6	2	4	8	3	5	15

Tabel IV.1.8.2: Maximale risicoafstanden voor de bovengrondse verbindingen op het tankstation op een druk van max. 200 bar

Type Leiding	sectie van 5 m			sectie van 10 m			sectie van 20 m		
	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$
Verbindingsleiding $\varnothing_{in} = 12$ mm (200 bar)	2	5	12	3	6	18	4	7	25
Verbindingsleiding $\varnothing_{in} = 16$ mm (200 bar)	2	5	15	3	7	22	4	9	32
Verbindingsleiding $\varnothing_{in} = 20$ mm (200 bar)	2	6	16	3	7	24	4	10	38

Tabel IV.1.8.3: Maximale risicoafstanden voor de bovengrondse verbindingen op het tankstation op een druk van max. 500 bar

Type Leiding	sectie van 5 m			sectie van 10 m			sectie van 20 m		
	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$
Verbindingsleiding $\varnothing_{in} = 6$ mm (500 bar)	3	4	11	3	5	15	4	7	17
Verbindingsleiding $\varnothing_{in} = 8$ mm (500 bar)	3	5	14	3	6	21	4	9	26
Verbindingsleiding $\varnothing_{in} = 10$ mm (500 bar)	3	6	17	3	7	26	4	10	33
Verbindingsleiding $\varnothing_{in} = 12$ mm (500 bar)	3	6	20	4	8	30	5	11	39

Tabel IV.1.8.4: Maximale risicoafstanden voor de bovengrondse verbindingen op het tankstation op een druk van max. 1.000 bar

Type Leiding	sectie van 5 m			sectie van 10 m			sectie van 20 m		
	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$
Verbindingsleiding $\varnothing_{in} = 6$ mm (1000 bar)	3	6	16	4	7	22	5	10	25
Verbindingsleiding $\varnothing_{in} = 8$ mm (1000 bar)	3	7	20	4	9	29	5	13	37
Verbindingsleiding $\varnothing_{in} = 10$ mm (1000 bar)	4	7	23	4	9	36	6	14	46

IV.1.9. Koelunit

Tabel IV.1.9.1 toont de berekende maximale risicoafstanden voor een koelunit die bestaat uit een co-axiale buis (spiraal) met een interne buisdiameter van 6 mm en een buislengte van 10 m, in functie van zijn jaarlijkse gebruiksduur.

Tabel IV.1.9.1: Maximale risicoafstanden voor het gebruik van de gaskoeler bij aflevering op een druk van 700 bar

	150 uren/jaar			300 uren/jaar			600 uren/jaar			1.200 uren/jaar		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Gaskoeler	0	0	0	0	0	4	0	0	5	0	0	6

IV.2. Risicoafstanden voor de volledige verdeelinstallatie

In onderstaande paragrafen worden de berekende maximale risicoafstanden getoond voor een aantal specifieke uitvoeringen van een waterstoftankstation. De maximale risicoafstanden van andere uitvoeringsvarianten kunnen worden bepaald met behulp van de ter beschikking gestelde softwaretool. De gecumuleerde risicoafstanden worden bepaald door aan te nemen dat de verschillende componenten op eenzelfde locatie gesitueerd zijn.

IV.2.1. Tankstation variant 1

BESCHRIJVING – Een eerste uitvoeringsvariant waarvoor de maximale risicoafstanden worden bepaald is gebaseerd op het bestaande tankstation van Air Liquide te Zaventem. Concreet worden de risicoafstanden berekend voor een waterstofverdeelinstallatie met een doorzet van 200 kg per dag waarbinnen volgende componenten aanwezig zijn:

- ❑ een losinstallatie voor tube-trailers (max. 200 bar) met een losslang ($\varnothing = 10$ mm) voorzien van een terugslagklep, maar zonder doorstroombegrenzer
- ❑ een lagedruk opslagbuffer (max. 200 bar) bestaande uit 272 flessen van 50 liter
- ❑ een middendruk en hogedrukcompressor die beide staan opgesteld in een 10 ft container zonder explosieluiken
- ❑ een middendruk buffer (max. 500 bar) en hogedruk buffer (max. 1.000 bar) die beide bestaan uit 16 flessen van 50 liter
- ❑ een verdeelzuil voor aflevering op 700 bar, voorzien van een verdeelslang ($\varnothing = 6$ mm) met doorstroombegrenzer en uitgerust met een gaskoeler
- ❑ verbindingsleidingen op verschillende drukken, secties van 5 of 10 m

De gebruiksduur (of verblijfsduur) van de verschillende componenten op het tankstation wordt als volgt ingeschat:

- ❑ losslang en hogedruk compressor: 730 uren per jaar (2 u/dag)
- ❑ gaskoeler, verdeelslang en tube-trailer: 1.095 uren per jaar (3 u/dag)
- ❑ middendruk compressor: 3.650 uren per jaar (10 u/dag)

RISICOAFSTANDEN – Tabellen IV.2.1.1 en IV.2.1.2 tonen de individuele en de gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op het tankstation, respectievelijk uitgaande van de faalfrequenties van standaard slangen en LPG-slangen. Op basis van de tabellen wordt afgeleid dat het grootste risico uitgaat van het lossen van tube-trailers, de lagedruk opslagbuffer en de verdeelzuil.

Tabel IV.2.1.1: Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 1 (standaard slangen)

Individuele componenten	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Tube-trailer 18x 1.220 liter (max. 200 bar) – 1.095 uren per jaar	0	13	30
Standaard losslang 10 mm (max. 200 bar) zonder doorstroombegrenzer – 730 uren per jaar	18	27	36
Bovengrondse leidingen (Ø = 12 mm, L = 10 m, max. 200 bar) – 730 uren per jaar	0	3	5
Lagedruk opslagbuffer 272x 50 liter (max. 200 bar)	11	17	18
Middendruk compressor in 10ft container, zonder explosieluiken – 3.650 uren per jaar	0	9	21
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 10 m, max. 500 bar) – 3.650 uren per jaar	2	4	10
Middendruk opslagbuffer 16x 50 liter (max. 500 bar)	6	11	22
Hogedruk compressor in 10ft container, zonder explosieluiken – 730 uren per jaar	0	6	12
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 5 m, max. 1.000 bar) – 730 uren per jaar	0	3	5
Hogedruk opslagbuffer 16x 50 liter (max. 1000 bar)	6	13	24
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 5 m, max. 1.000 bar) – 1.095 uren per jaar	0	3	6
Gaskoeler – 1.095 uren per jaar	0	0	6
Standaard verdeelslang 6 mm (max. 700 bar) met doorstroombegrenzer – 1.095 uren per jaar	13	20	26
Functionele delen van het tankstation (met componenten op korte afstand van elkaar)	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Losplaats voor tube-trailers (tube-trailers, slang)	19	27	38
Lagedruk opslag (lagedruk opslagbuffer, leidingen)	12	17	19
Middendruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	6	14	22
Hogedruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	6	14	24
Afleverzuil (slang, gaskoeler, leiding)	13	20	26
Totaal (alle componenten op korte afstand van elkaar)	20	28	38

Tabel IV.2.1.2: Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 1 (LPG-slangen)

Individuele componenten	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Tube-trailer 18x 1.220 liter (max. 200 bar) – 1.095 uren per jaar	0	13	30
LPG losslang 10 mm (max. 200 bar) zonder doorstroombegrenzer – 730 uren per jaar	5	20	29
Bovengrondse leidingen (Ø = 12 mm, L = 10 m, max. 200 bar) – 730 uren per jaar	0	3	5
Lagedruk opslagbuffer 272x 50 liter (max. 200 bar)	11	17	18
Middendruk compressor in 10ft container, zonder explosieluiken – 3.650 uren per jaar	0	9	21
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 10 m, max. 500 bar) – 3.650 uren per jaar	2	4	10
Middendruk opslagbuffer 16x 50 liter (max. 500 bar)	6	11	22
Hogedruk compressor in 10ft container, zonder explosieluiken – 730 uren per jaar	0	6	12
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 5 m, max. 1.000 bar) – 730 uren per jaar	0	3	5
Hogedruk opslagbuffer 16x 50 liter (max. 1000 bar)	6	13	24
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 5 m, max. 1.000 bar) – 1.095 uren per jaar	0	3	6
Gaskoeler – 1.095 uren per jaar	0	0	6
LPG verdeelslang 6 mm (max. 700 bar) met doorstroombegrenzer – 1.095 uren per jaar	3	13	21
Functionele delen van het tankstation (met componenten op korte afstand van elkaar)	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Losplaats voor tube-trailers (tube-trailers, slang)	6	21	34
Lagedruk opslag (lagedruk opslagbuffer, leidingen)	12	17	19
Middendruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	6	14	22
Hogedruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	6	14	24
Afleverzuil (slang, gaskoeler, leiding)	3	13	22
Totaal (alle componenten op korte afstand van elkaar)	15	23	34

IV.2.2. Tankstation variant 2

BESCHRIJVING – Een tweede uitvoeringsvariant waarvoor de maximale risicoafstanden worden bepaald is gebaseerd op het bestaande tankstation van Air Liquide te Rhooon (NI). Concreet worden de risicoafstanden berekend voor een waterstofverdeelinstallatie met een doorzet van 200 kg per dag waarbinnen volgende componenten aanwezig zijn:

- ❑ een waterstoftransportleiding ($\varnothing = 150$ mm, L = 10 m, max. 100 bar) die instaat voor de bevoorrading van het station
- ❑ een middendruk en hogedrukcompressor die beide staan opgesteld in een 10 ft container zonder explosieluiken
- ❑ een middendruk buffer (max. 500 bar) die bestaat uit 2 cilinders van 1.000 liter
- ❑ een hogedruk buffer (max. 1.000 bar) die bestaat uit 16 flessen van 50 liter
- ❑ een verdeelzuil voor aflevering op 700 bar, voorzien van een verdeelslang ($\varnothing = 6$ mm) met doorstroombegrenzer en uitgerust met een gaskoeler
- ❑ verbindingsleidingen op verschillende drukken, secties van 5 of 10 m

De gebruiksduur van de componenten op het tankstation wordt als volgt ingeschat:

- ❑ middendruk compressor: 3.650 uren per jaar (10 u/dag)
- ❑ hogedruk compressor: 730 uren per jaar (2 u/dag)
- ❑ gaskoeler en verdeelslang: 1.095 uren per jaar (3 u/dag)

RISICOAFSTANDEN – Tabellen IV.2.2.1 en IV.2.2.2 tonen de individuele en de gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op het tankstation, respectievelijk uitgaande van de faalfrequenties van standaard slangen en LPG-slangen. Op basis van de tabellen wordt afgeleid dat een groot aantal componenten op het station evenwaardig bijdragen tot het risico dat uitgaat van het tankstation⁽⁵⁸⁾.

Tabel IV.2.2.1: Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 2 (standaard slangen)

Individuele componenten	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Waterstoftransportleiding ($\varnothing = 150$ mm, L = 5 m, ondergronds, max. 100 bar) – permanent gebruik	0	0	21
Waterstoftransportleiding ($\varnothing = 150$ mm, L = 5 m, bovengronds, max. 100 bar) – permanent gebruik	0	12	31
Bovengrondse leidingen ($\varnothing = 12$ mm, L = 5 m, max. 200 bar) – permanent gebruik	2	5	12
Middendruk compressor in 10ft container, zonder explosieluiken – 3.650 uren per jaar	0	9	21
Bovengrondse leidingen ($\varnothing = 10$ mm, L = 10 m, max. 500 bar) – 3.650 uren per jaar	2	5	16
Middendruk opslagbuffer 2x 1.000 liter (max. 500 bar)	0	15	40
Hogedruk compressor in 10ft container, zonder explosieluiken – 730 uren per jaar	0	6	12
Bovengrondse leidingen ($\varnothing = 6$ mm, L = 5 m, max. 1.000 bar) – 730 uren per jaar	0	3	5
Hogedruk opslagbuffer 16x 50 liter (max. 1.000 bar)	6	13	24
Bovengrondse leidingen ($\varnothing = 6$ mm, L = 5 m, max. 1.000 bar) – 1.095 uren per jaar	0	3	6
Gaskoeler – 1.095 uren per jaar	0	0	6
Standaard verdeelslang 6 mm (max. 700 bar) met doorstroombegrenzer – 1.095 uren per jaar	13	20	26

⁽⁵⁸⁾ Wanneer de faalfrequenties van standaard slangen worden gehanteerd, dan wordt de gecumuleerde risicoafstand tot 10⁻⁵/j die werd berekend voor het volledige tankstation hoofdzakelijk bepaald door het risico dat uitgaat van de verdeelzuil.

Functionele delen van het tankstation (met componenten op korte afstand van elkaar)	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Aanvoer via een waterstoftransportleiding (transportleiding, verbindingsleiding)	3	15	34
Middendruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	6	17	40
Hogedruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	6	14	24
Afleverzuil (slang, gaskoeler, leiding)	13	20	26
Totaal (alle componenten op korte afstand van elkaar)	14	24	47

Tabel IV.2.2.2: Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 2 (LPG-slangen)

Individuele componenten	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Waterstoftransportleiding (Ø = 150 mm, L = 5 m, ondergronds, max. 100 bar) – permanent gebruik	0	0	21
Waterstoftransportleiding (Ø = 150 mm, L = 5 m, bovengronds, max. 100 bar) – permanent gebruik	0	12	31
Bovengrondse leidingen (Ø = 12 mm, L = 5 m, max. 200 bar) – permanent gebruik	2	5	12
Middendruk compressor in 10ft container, zonder explosieluiken – 3.650 uren per jaar	0	9	21
Bovengrondse leidingen (Ø = 10 mm, L = 10 m, max. 500 bar) – 3.650 uren per jaar	2	5	16
Middendruk opslagbuffer 2x 1.000 liter (max. 500 bar)	0	15	40
Hogedruk compressor in 10ft container, zonder explosieluiken – 730 uren per jaar	0	6	12
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 5 m, max. 1.000 bar) – 730 uren per jaar	0	3	5
Hogedruk opslagbuffer 16x 50 liter (max. 1.000 bar)	6	13	24
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 5 m, max. 1.000 bar) – 1.095 uren per jaar	0	3	6
Gaskoeler – 1.095 uren per jaar	0	0	6
LPG verdeelslang 6 mm (max. 700 bar) met doorstroombegrenzer – 1.095 uren per jaar	3	13	21
Functionele delen van het tankstation (met componenten op korte afstand van elkaar)	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Aanvoer via een waterstoftransportleiding	3	15	34
Middendruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	6	17	40
Hogedruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	6	14	24
Afleverzuil (slang, gaskoeler, leiding)	3	13	22
Totaal (alle componenten op korte afstand van elkaar)	11	23	47

IV.2.3. Tankstation variant 3

BESCHRIJVING – Een derde uitvoeringsvariant waarvoor de maximale risicoafstanden worden bepaald is gebaseerd op het bestaande tankstation van Waterstofnet te Helmond (NI). Concreet worden de risicoafstanden berekend voor een waterstofverdeelinstallatie met een maximale doorzet van 130 kg per dag waarbinnen volgende componenten aanwezig zijn:

- ❑ twee geautomatiseerde elektrolyse-modules, elk met een capaciteit van 30 Nm³/h die beide staan opgesteld in een 20 ft container zonder explosieluiken
- ❑ een middendruk en hogedrukcompressor die beide staan opgesteld in een 20 ft container zonder explosieluiken
- ❑ een middendruk buffer (max. 500 bar) die bestaat uit 48 flessen van 50 liter en 9 cilinders van 550 liter
- ❑ een hogedruk buffer (max. 1.000 bar) die bestaat uit 2 cilinders van 250 liter en 2 cilinders van 300 liter
- ❑ een verdeelzuil voor aflevering op 350 bar, voorzien van een verdeelslang (Ø = 6 mm) met doorstroombegrenzer en uitgerust met een gaskoeler
- ❑ een verdeelzuil voor aflevering op 700 bar, voorzien van een verdeelslang (Ø = 6 mm) met doorstroombegrenzer en uitgerust met een gaskoeler

- ❑ verbindingsleidingen op verschillende drukken, secties van 5 of 10 m

De gebruiksduur van de componenten op het tankstation wordt als volgt ingeschat:

- ❑ elektrolyse-modules: permanent in gebruik
- ❑ middendruk compressor: 3.650 uren per jaar (10 u/dag)
- ❑ hogedruk compressor: 730 uren per jaar (2 u/dag)
- ❑ verdeelslang (350 bar): 120 uren per jaar
- ❑ gaskoeler, verdeelslang (700 bar): 400 uren per jaar

RISICOAFSTANDEN – Tabellen IV.2.3.1 en IV.2.3.2 tonen de individuele en de gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op het tankstation, respectievelijk uitgaande van de faalfrequenties van standaard slangen en LPG-slangen. Op basis van de tabellen wordt afgeleid dat het grootste risico uitgaat van de aanwezige middendruk buffer op het tankstation.

Tabel IV.2.3.1: Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 3 (standaard slangen)

Individuele componenten	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Elektrolyse-module (2x 30 Nm ³ /h) in 20ft containers, zonder explosieluiken – permanent gebruik	6	13	26
Bovengrondse leidingen (Ø = 16 mm, L = 10 m, max. 30 bar) – permanent gebruik	2	4	8
Middendruk compressor in 20ft container, zonder explosieluiken – 3.650 uren per jaar	0	11	27
Bovengrondse leidingen (Ø = 8 mm, L = 10 m, max. 500 bar) – 3.650 uren per jaar	2	5	13
Middendruk buffer – 48x 50 liter (max. 500 bar)	7	18	23
Middendruk buffer – 9x 550 liter (max. 500 bar)	10	21	45
Bovengrondse leidingen (Ø = 8 mm, L = 10 m, max. 500 bar) – 120 uren per jaar	0	1	4
Standaard verdeelslang 8 mm (max. 350 bar) met doorstroombegrenzer – 120 uren per jaar	3	10	12
Hogedruk compressor in 20ft container, zonder explosieluiken – 730 uren per jaar	0	7	15
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 5 m, max. 1.000 bar) – 730 uren per jaar	0	3	5
Hogedruk opslagbuffer 2x 250 liter en 2x 300 liter (max. 1.000 bar)	0	14	37
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 5 m, max. 1.000 bar) – 400 uren per jaar	0	2	5
Gaskoeler – 400 uren per jaar	0	0	4
Standaard verdeelslang 6 mm (max. 700 bar) met doorstroombegrenzer – 400 uren per jaar	11	15	24
Functionele delen van het tankstation (met componenten op korte afstand van elkaar)	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Lokale waterstofproductie (elektrolyse-modules, verbindingsleiding)	6	13	26
Middendruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	11	23	45
Afleverzuil op 350 bar (slang, leiding)	3	10	12
Hogedruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	3	15	37
Afleverzuil op 700 bar (slang, gaskoeler, leiding)	11	15	24
Totaal (alle componenten op korte afstand van elkaar)	14	27	45

Tabel IV.2.3.2: Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 3 (LPG-slangen)

Individuele componenten	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Elektrolyse-module (2x 30 Nm ³ /h) in 20ft containers, zonder explosieluiken – permanent gebruik	6	13	26
Bovengrondse leidingen (Ø = 16 mm, L = 10 m, max. 30 bar) – permanent gebruik	2	4	8
Middendruk compressor in 20ft container, zonder explosieluiken – 3.650 uren per jaar	0	11	27
Bovengrondse leidingen (Ø = 8 mm, L = 10 m, max. 500 bar) – 3.650 uren per jaar	2	5	13
Middendruk buffer – 48x 50 liter (max. 500 bar)	7	18	23
Middendruk buffer – 9x 550 liter (max. 500 bar)	10	21	45
Bovengrondse leidingen (Ø = 8 mm, L = 10 m, max. 500 bar) – 120 uren per jaar	0	1	4

Individuele componenten	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
LPG verdeelslang 8 mm (max. 350 bar) met doorstroombegrenzer – 120 uren per jaar	3	3	11
Hogedruk compressor in 20ft container, zonder explosieluiken – 730 uren per jaar	0	7	15
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 5 m, max. 1.000 bar) – 730 uren per jaar	0	3	5
Hogedruk opslagbuffer 2x 250 liter en 2x 300 liter (max. 1.000 bar)	0	14	37
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 5 m, max. 1.000 bar) – 400 uren per jaar	0	2	5
Gaskoeler – 400 uren per jaar	0	0	4
LPG verdeelslang 6 mm (max. 700 bar) met doorstroombegrenzer – 400 uren per jaar	3	11	17
Functionele delen van het tankstation (met componenten op korte afstand van elkaar)	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Lokale waterstofproductie (elektrolyse-modules, verbindingsleiding)	6	13	26
Middendruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	11	23	45
Afleverzuil op 350 bar (slang, leiding)	3	3	11
Hogedruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	3	15	37
Afleverzuil op 700 bar (slang, gaskoeler, leiding)	3	11	17
Totaal (alle componenten op korte afstand van elkaar)	13	27	45

IV.2.4. Tankstation variant 4

BESCHRIJVING – Een vierde uitvoeringsvariant waarvoor de maximale risicoafstanden worden bepaald is gebaseerd op het tankstation van Coop Mineraloel AG te Hunzenschwil (CH). Concreet worden de risicoafstanden berekend voor een waterstofverdeelinstallatie met een maximale doorzet van 600 kg per dag waarbinnen volgende componenten aanwezig zijn:

- ❑ een losinstallatie voor tube-trailers of batterijvoertuigen (max. 200 bar) met een losslang (Ø = 10 mm) voorzien van een terugslagklep, maar zonder doorstroombegrenzer
- ❑ een ondergrondse druktank van 100 m³ (max. 50 bar)
- ❑ een hogedrukcompressor die staat opgesteld in een 20 ft container zonder explosieluiken
- ❑ een middendruk buffer (max. 500 bar) en hogedruk buffer (max. 1.000 bar) die bestaan uit respectievelijk 39 en 18 flessen van 50 liter
- ❑ een verdeelzuil voor aflevering op 350 bar, voorzien van een verdeelslang (Ø = 8 mm) met doorstroombegrenzer
- ❑ een verdeelzuil voor aflevering op 700 bar, voorzien van een verdeelslang (Ø = 6 mm) met doorstroombegrenzer en uitgerust met een gaskoeler
- ❑ verbindingsleidingen op verschillende drukken, secties van 5 of 10 m

De gebruiksduur of verblijftijd van de componenten op het tankstation wordt als volgt ingeschat:

- ❑ losslang: 900 uren per jaar
- ❑ batterijvoertuig: 1.200 uren per jaar
- ❑ hogedruk compressor: 3.650 uren per jaar (10 u/dag)
- ❑ verdeelslang (350 bar): 800 uren per jaar
- ❑ gaskoeler, verdeelslang (700 bar): 1.200 uren per jaar

RISICOAFSTANDEN – Tabellen IV.2.4.1 en IV.2.4.2 tonen de individuele en de gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op het tankstation, respectievelijk

uitgaande van de faalfrequenties van standaard slangen en LPG-slangen. Op basis van de tabellen wordt afgeleid dat het grootste risico uitgaat van het lossen van batterijvoertuigen op het station.

Tabel IV.2.4.1: Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 4 (standaard slangen)

Individuele componenten	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Batterijvoertuig 155x 315 liter (max. 200 bar) – 1.200 uren per jaar	8	19	30
Standaard losslang 10 mm (max. 200 bar) zonder doorstroombegrenzer – 900 uren per jaar	20	28	37
Bovengrondse leidingen (Ø = 12 mm, L = 10 m, max. 200 bar) – 900 uren per jaar	0	3	6
Ondergrondse opslagtank 100 m ³ (max. 50 bar)	0	5	30
Bovengrondse leidingen (Ø = 12 mm, L = 10 m, max. 200 bar) – 3.650 uren per jaar	2	5	11
Hogedruk compressor in 20ft container, zonder explosieluiken – 3.650 uren per jaar	0	11	27
Bovengrondse leidingen (Ø = 8 mm, L = 5 m, max. 500 bar) – 3.650 uren per jaar	2	4	9
Middendruk buffer – 39x 50 liter (max. 500 bar)	7	17	23
Bovengrondse leidingen (Ø = 8 mm, L = 10 m, max. 500 bar) – 800 uren per jaar	1	3	6
Standaard verdeelslang 8 mm (max. 350 bar) met doorstroombegrenzer – 800 uren per jaar	13	20	27
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 5 m, max. 1.000 bar) – 3.650 uren per jaar	2	5	10
Hogedruk opslagbuffer 18x 50 liter (max. 1.000 bar)	6	14	24
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 10 m, max. 1.000 bar) – 1.200 uren per jaar	2	4	8
Gaskoeler – 1.200 uren per jaar	0	0	6
Standaard verdeelslang 6 mm (max. 700 bar) met doorstroombegrenzer – 1.200 uren per jaar	13	21	26
Functionele delen van het tankstation (met componenten op korte afstand van elkaar)	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Losplaats voor batterijvoertuigen (batterijvoertuigen, slang, leiding)	20	29	37
Lagedruk opslag (ondergrondse tank, leidingen)	3	6	30
Compressor en bijhorende buffers (compressor, leidingen, buffers)	9	21	27
Afleverzuil op 350 bar (slang, leiding)	13	20	27
Afleverzuil op 700 bar (slang, gaskoeler, leiding)	13	21	26
Totaal (alle componenten op korte afstand van elkaar)	21	30	38

Tabel IV.2.4.2: Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 4 (LPG-slangen)

Individuele componenten	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Batterijvoertuig 155x 315 liter (max. 200 bar) – 1.200 uren per jaar	8	19	30
LPG losslang 10 mm (max. 200 bar) met doorstroombegrenzer – 900 uren per jaar	6	21	30
Bovengrondse leidingen (Ø = 12 mm, L = 10 m, max. 200 bar) – 900 uren per jaar	0	3	6
Ondergrondse opslagtank 100 m ³ (max. 50 bar)	0	5	30
Bovengrondse leidingen (Ø = 12 mm, L = 10 m, max. 200 bar) – 3.650 uren per jaar	2	5	11
Hogedruk compressor in 20ft container, zonder explosieluiken – 3.650 uren per jaar	0	11	27
Bovengrondse leidingen (Ø = 8 mm, L = 5 m, max. 500 bar) – 3.650 uren per jaar	2	4	9
Middendruk buffer – 39x 50 liter (max. 500 bar)	7	17	23
Bovengrondse leidingen (Ø = 8 mm, L = 10 m, max. 500 bar) – 800 uren per jaar	1	3	6
LPG verdeelslang 8 mm (max. 350 bar) met doorstroombegrenzer – 800 uren per jaar	3	13	21
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 5 m, max. 1.000 bar) – 3.650 uren per jaar	2	5	10
Hogedruk opslagbuffer 18x 50 liter (max. 1.000 bar)	6	14	24
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 10 m, max. 1.000 bar) – 1.200 uren per jaar	2	4	8
Gaskoeler – 1.200 uren per jaar	0	0	6
LPG verdeelslang 6 mm (max. 700 bar) met doorstroombegrenzer – 1.200 uren per jaar	4	13	22

Functionele delen van het tankstation (met componenten op korte afstand van elkaar)	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Losplaats voor batterijvoertuigen (batterijvoertuigen, slang, leiding)	10	24	31
Lagedruk opslag (ondergrondse tank, leidingen)	3	6	30
Compressor en bijhorende buffers (compressor, leidingen, buffers)	9	21	27
Afleverzuil op 350 bar (slang, leiding)	3	13	21
Afleverzuil op 700 bar (slang, gaskoeler, leiding)	4	13	22
Totaal (alle componenten op korte afstand van elkaar)	14	26	34

IV.2.5. Tankstation variant 5

BESCHRIJVING – Een laatste uitvoeringsvariant waarvoor de maximale risicoafstanden worden bepaald is gebaseerd op een tankstation van Total in Berlijn. Concreet worden de risicoafstanden berekend voor een waterstofverdeelinstallatie met een doorzet van 200 kg per dag waarbinnen volgende componenten aanwezig zijn:

- een losinstallatie voor tube-trailers (max. 200 bar) met een losslang ($\varnothing = 10$ mm) voorzien van een terugslagklep, maar zonder doorstroombegrenzer
- een lagedruk opslagbuffer (max. 200 bar) bestaande uit 5 cilinders van 2.500 liter
- een hogedrukcompressor die staat opgesteld in een 20 ft container zonder explosieluiken
- een hogedruk buffer (max. 1.000 bar) die bestaat uit 10 flessen van 80 liter
- een verdeelzuil voor aflevering op 700 bar, voorzien van een verdeelslang ($\varnothing = 6$ mm) met doorstroombegrenzer en uitgerust met een gaskoeler
- verbindingsleidingen op verschillende drukken, secties van 5 of 10 m

De gebruiksduur (of verblijfsduur) van de verschillende componenten op het tankstation wordt als volgt ingeschat:

- losslang: 730 uren per jaar (2 u/dag)
- hogedruk compressor: 1.095 uren per jaar (3 u/dag)
- gaskoeler, verdeelslang en tube-trailer: 1.095 uren per jaar (3 u/dag)

RISICOAFSTANDEN – Tabellen IV.2.5.1 en IV.2.5.2 tonen de individuele en de gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op het tankstation, respectievelijk uitgaande van de faalfrequenties van standaard slangen en LPG-slangen. Op basis van de tabellen wordt afgeleid dat het grootste risico uitgaat van het lossen van tube-trailers en de lagedruk opslagbuffer (5 cilinders van 2.500 liter).

Tabel IV.2.5.1: Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 5 (standaard slangen)

Individuele componenten	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Tube-trailer 9x 2.330 liter (max. 200 bar) – 1.095 uren per jaar	0	13	26
Standaard losslang 10 mm (max. 200 bar) zonder doorstroombegrenzer – 730 uren per jaar	18	27	36
Bovengrondse leidingen ($\varnothing = 12$ mm, L = 20 m, max. 200 bar) – 730 uren per jaar	1	3	7
Lagedruk opslagbuffer 5x 2.500 liter (max. 200 bar)	4	20	50
Bovengrondse leidingen ($\varnothing = 12$ mm, L = 5 m, max. 200 bar) – 1.095 uren per jaar	0	2	5
Hogedruk compressor in 20ft container, zonder explosieluiken – 1.095 uren per jaar	0	8	18
Bovengrondse leidingen ($\varnothing = 6$ mm, L = 5 m, max. 1.000 bar) – 1.095 uren per jaar	0	3	6
Hogedruk opslagbuffer 10x 80 liter (max. 1.000 bar)	6	12	27
Bovengrondse leidingen ($\varnothing = 6$ mm, L = 10 m, max. 1.000 bar) – 1.095 uren per jaar	2	4	8

Individuele componenten	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Gaskoeler – 1.095 uren per jaar	0	0	6
Standaard verdeelslang 6 mm (max. 700 bar) met doorstroombegrenzer – 1.095 uren per jaar	13	20	26
Functionele delen van het tankstation (met componenten op korte afstand van elkaar)	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Losplaats voor tube-trailers (tube-trailers, slang, leiding)	19	27	37
Lagedruk opslag (5 cilinders van 2.500 liter, leidingen)	4	20	50
Compressor en bijhorende buffers (compressor, leidingen, buffers)	7	13	27
Afleverzuil op 700 bar (slang, gaskoeler, leiding)	13	20	26
Totaal (alle componenten op korte afstand van elkaar)	20	30	53

Tabel IV.2.4.2: Maximale individuele en gecumuleerde risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type 5 (LPG-slangen)

Individuele componenten	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Tube-trailer 9x 2.330 liter (max. 200 bar) – 1.095 uren per jaar	0	13	26
LPG losslang 10 mm (max. 200 bar) met doorstroombegrenzer – 730 uren per jaar	5	20	29
Bovengrondse leidingen (Ø = 12 mm, L = 20 m, max. 200 bar) – 730 uren per jaar	1	3	7
Lagedruk opslagbuffer 5x 2.500 liter (max. 200 bar)	4	20	50
Bovengrondse leidingen (Ø = 12 mm, L = 5 m, max. 200 bar) – 1.095 uren per jaar	0	2	5
Hogedruk compressor in 20ft container, zonder explosieluiken – 1.095 uren per jaar	0	8	18
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 5 m, max. 1.000 bar) – 1.095 uren per jaar	0	3	6
Hogedruk opslagbuffer 10x 80 liter (max. 1.000 bar)	6	12	27
Bovengrondse leidingen (Ø = 6 mm, L = 10 m, max. 1.000 bar) – 1.095 uren per jaar	2	4	8
Gaskoeler – 1.095 uren per jaar	0	0	6
LPG verdeelslang 6 mm (max. 700 bar) met doorstroombegrenzer – 1.095 uren per jaar	3	13	21
Functionele delen van het tankstation (met componenten op korte afstand van elkaar)	Max. risicoafstanden		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j
Losplaats voor batterijvoertuigen (batterijvoertuigen, slang, leiding)	6	21	33
Lagedruk opslag (ondergrondse tank, leidingen)	4	20	50
Compressor en bijhorende buffers (compressor, leidingen, buffers)	7	13	27
Afleverzuil op 700 bar (slang, gaskoeler, leiding)	4	13	22
Totaal (alle componenten op korte afstand van elkaar)	13	26	53

IV.3. Richtlijnen voor het gebruik van de risicoafstanden

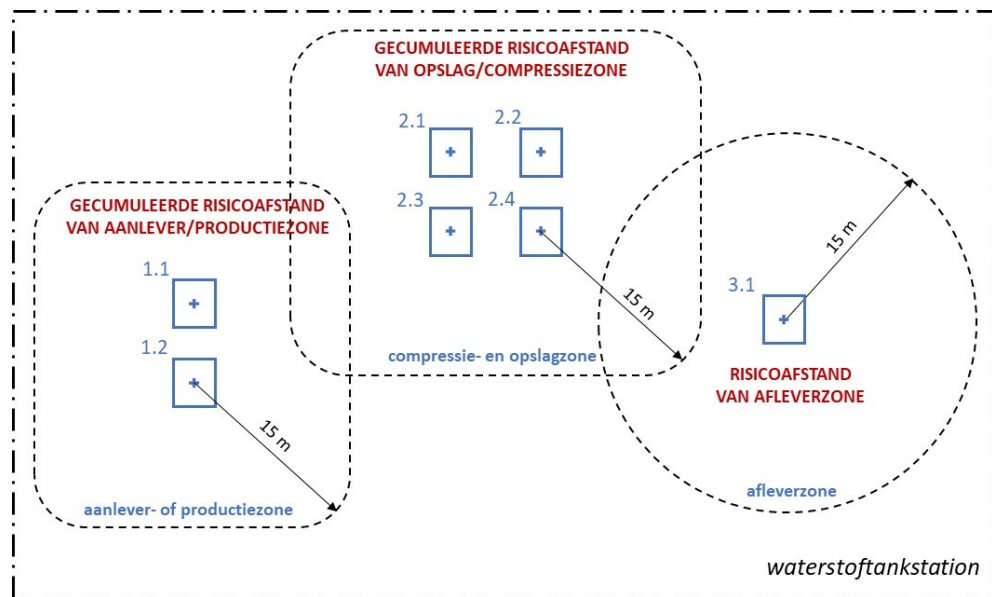
Afhankelijk van de onderlinge afstanden tussen de risicobepalende componenten van een waterstoftankstation en de onderlinge verhouding van de risicoafstanden die uitgaan van deze componenten, is het aangewezen om bij de evaluatie van het plaatsgebonden mensrisico van het tankstation uit te gaan van gecumuleerde risicoafstanden (d.w.z. van de risicoafstanden die uitgaan van meerdere componenten op eenzelfde locatie) of van individuele risicoafstanden.

In paragraaf III.3.1.2 werd het plaatsgebonden mensrisico besproken voor een waterstoftankstation waarbij zowel de losplaats voor tube-trailers als de verdeelzuil op een afstand van 15 m van de overige componenten van het tankstation zijn gesitueerd. Op basis van figuur III.3.1.6 werd geoordeeld dat het plaatsgebonden mensrisico ter hoogte van de tube-trailer losplaats en de verdeelzuil het best worden benaderd door de individuele risicoafstanden van deze componenten. Voor de overige componenten (o.a. compressoren en buffers) werd aanbevolen de gecumuleerde risicoafstanden van deze componenten te gebruiken.

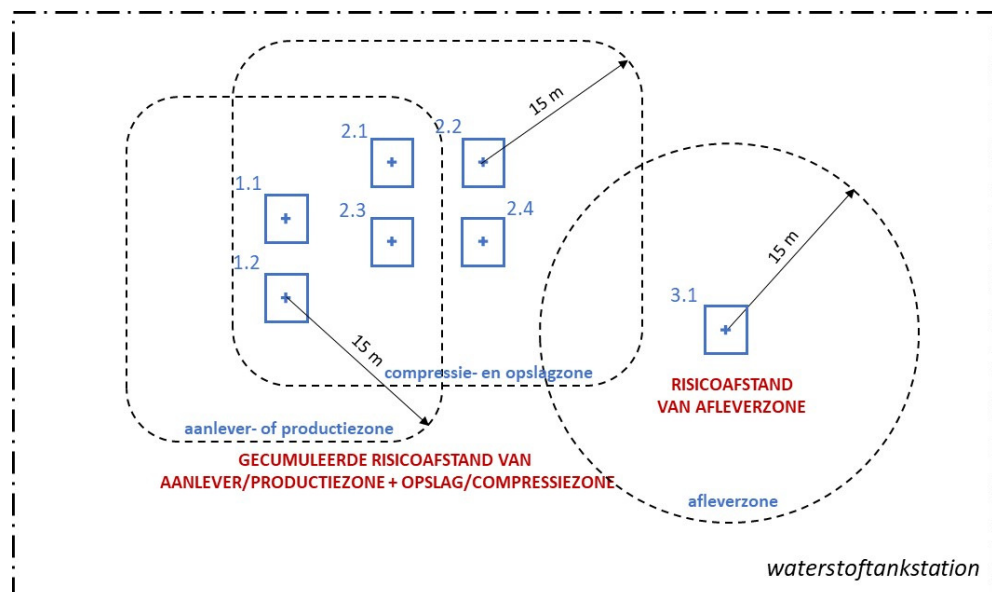
Deze aanbeveling kan als volgt worden veralgemeend. Op een waterstoftankstation kunnen over het algemeen drie functionele zones worden geïdentificeerd: een aanlever- of productiezone, een compressie- en opslagzone en een afleverzone. Er wordt verder aangenomen dat de componenten die behoren tot eenzelfde functioneel gedeelte van het tankstation (bv. compressie en opslag) dicht bij elkaar zijn gesitueerd en dat bijgevolg de gecumuleerde risicoafstanden dienen te worden toegepast voor elk van de functionele delen van het tankstation.

Indien de functionele zones bovendien op minder dan 15 m van elkaar gelegen zijn dan dienen de gecumuleerde risicoafstanden te worden toegepast voor alle componenten in de betreffende zones. De voorgestelde werkwijze wordt toegelicht in onderstaande figuren.

Figuur IV.3.1: Spelregels m.b.t. het gebruik van risicoafstanden op een waterstoftankstation waarbij de functionele delen op meer dan 15 m van elkaar gelegen zijn



Figuur IV.3.2: Spelregels m.b.t. het gebruik van risicoafstanden op een waterstoftankstation waarbij bepaalde functionele delen op minder dan 15 m van elkaar gelegen zijn



Leeg blad

V. BEPALEN VAN INTERNE SCHEIDINGSAFSTANDEN

In dit deel van de studie worden interne scheidingsafstanden voorgesteld die aangehouden dienen te worden tussen de componenten van een waterstofverdeelinstallatie op een tankstation en andere kwetsbare objecten (personen of installaties) binnen hetzelfde station. De interne scheidingsafstanden worden bepaald voor ongevallen met de waterstofverdeelinstallatie die een hoge waarschijnlijkheid van voorkomen hebben.

De voorgestelde interne scheidingsafstanden worden tot slot getoetst aan voorwaarden met betrekking tot de terreininrichting en de ruimtelijke scheiding van installaties die in de relevante normen en codes van goede praktijk zijn opgenomen (zie bijlage 4).

V.1. Methodiek

V.1.1. Algemeen

Interne veiligheidsafstanden of scheidingsafstanden hebben als doel om kwetsbare objecten (personen of installaties) in de directe omgeving van een installatie te beschermen tegen een te voorzien ongeval met de installatie en te verhinderen dat een klein incident met de installatie kan escaleren tot een groter incident binnen de inrichting⁽⁵⁹⁾.

Bij het bepalen van interne scheidingsafstanden dienen bijgevolg geen catastrofale gebeurtenissen of omvangrijke vrijzettingen van gevaarlijke stoffen uit een installatie in beschouwing te worden genomen, maar wel lekkages waarvan te verwachten valt dat ze gedurende de levensduur van de installatie zouden kunnen optreden [11].

De methodiek voor het bepalen van interne scheidingsafstanden omvat de volgende deeltappen:

1. **SELECTIE VAN REPRESENTATIEVE VRIJZETTINGS- EN ONGEVALSCENARIO'S**
Voor de verschillende risicovolle componenten van een waterstofverdeelinstallatie, wordt een representatief vrijzettingsscenario (lek) en ongevalsscenario geselecteerd op basis waarvan de interne scheidingsafstanden worden bepaald.
2. **VASTLEGGEN VAN SCHADECRITERIA VOOR PERSONEN EN INSTALLATIES**
Voor de te verwachten fysische effecten van de geselecteerde ongevalsscenario (bv. invallende stralingswarmteflux) worden vervolgens grenswaarden vastgelegd waarvoor relevante schade aan personen of aan installaties te verwachten is.
3. **BEPALEN VAN GEVOLGEN (FYSISCHE EFFECTEN) VAN DE GESELECTEERDE ONGEVALLLEN**
In een volgende stap worden de fysische effecten van de geselecteerde ongevals-scenario's berekend in functie van de afstand tot het beschouwde vrijzettingpunt.
4. **AFLEIDEN VAN SCHEIDINGSAFSTANDEN OP BASIS VAN DE BEREKENDE EFFECTEN EN DE VOOROPGESTELDE SCHADECRITERIA**
Tot slot worden de interne scheidingsafstanden (tot personen en installaties) bepaald uitgaande van de berekende effecten en de vooropgestelde schade-criteria.

⁽⁵⁹⁾ Deze definitie is gebaseerd op de definitie uit EIGA IGC Doc. 75/07/E: "The safety distance is the minimum separation between a hazard source and an object (human, equipment or environment) which will mitigate the effect of a likely foreseeable incident and prevent a minor incident escalating into a larger incident."

V.1.2. Selectie van representatieve scenario's

OP BASIS VAN VLAAMSE QRA – Interne scheidingsafstanden hebben tot doel om preventief in de ontwerpfase van een waterstofverdeelinstallatie de impact van te voorzien ongevallen met de bestudeerde installatie op naburige installaties en personen te beperken. Zoals hoger aangegeven worden bij het bepalen van de interne scheidingsafstanden enkel kleinere vrijzettingen (i.e. lekkages) met een hoge waarschijnlijkheid van optreden tijdens de levensduur van de installatie in beschouwing genomen. Uitgaande van een levensduur van een industriële installatie van 20 à 40 jaar en de kans op optreden van een waarschijnlijke gebeurtenis van 1% (10^{-2}) over de volledige levensduur van de installatie, worden enkel vrijzettingsscenario's met een frequentie van voorkomen van minstens $2,5 \cdot 10^{-4}$ per jaar als relevant aanzien.

De componenten en faalwijzen die op basis van de generieke faalfrequenties (zie tabellen III.2.1.1 t.e.m. III.2.9.1) worden geselecteerd voor het bepalen van interne scheidingsafstanden op een waterstoftankstation, worden weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel V.1.2.1: Representatieve componenten en faalwijzen voor het afbakenen van interne scheidingsafstanden op een waterstoftankstation

Component	Faalwijze	Randvoorwaarden
Gasflessenbatterij ⁽¹⁾	Breuk van een gasfles	Batterij met minstens 225 elementen
Cilinderbatterij ⁽¹⁾	Lek aan een cilinder	Batterij met minstens 23 elementen
Flexibele los- of koppelslang	Breuk van een slang – veiligheidsmaatregelen werken	Gebruik gedurende minstens 65 uren/jaar ⁽³⁾
	Lek aan de slang	Gebruik gedurende minstens 6 uren/jaar ⁽⁴⁾
Compressor	Lek aan de compressor	Gebruik gedurende minstens 500 uren/jaar
Elektrolyse-module ⁽²⁾	Lek in de module	Gebruik gedurende minstens 2.000 uren/jaar
Stoomreformer-module	Lek in de module	Gebruik gedurende minstens 100 uren/jaar
Flexibele verdeelslang	Breuk van een slang – doorstroombegrenzer werkt	Gebruik gedurende minstens 65 uren/jaar ⁽³⁾
	Lek aan de slang	Gebruik gedurende minstens 6 uren/jaar ⁽⁴⁾

- (1) Gasfles- of cilinderbatterijen kunnen ook voorkomen op het station in de vorm van een batterijvoertuig of tube-trailer. Een batterijvoertuig of tube-trailer is enkel relevant voor de bepaling van interne scheidingsafstanden op een tankstation als er gemiddeld op jaarbasis (rekening houdend met de aanwezigheid van de trailer op het station) 225 flessen of 23 cilinders aanwezig.
- (2) Lekkages aan elektrolyse-modules die zijn voorzien van een actief ventilatiesysteem en een gasdetectiesysteem gekoppeld aan een automatisch noodstopsysteem worden niet relevant geacht in het kader van de afbakening van interne scheidingsafstanden.
- (3) Wanneer wordt aangenomen dat slangen voor waterstofgas onder hoge druk vergelijkbare faalfrequenties hebben dan LPG-, LNG- of CNG-slangen dan dienen de slangen minstens 500 uren per jaar te worden gebruikt.
- (4) Wanneer wordt aangenomen dat slangen voor waterstofgas onder hoge druk vergelijkbare faalfrequenties hebben dan LPG-, LNG- of CNG-slangen dan dienen de slangen minstens 50 uren per jaar te worden gebruikt.

Specifiek voor flexibele slangen zullen de representatieve faalwijzen die worden geselecteerd voor het bepalen van de interne scheidingsafstanden op een tankstation afhankelijk zijn van de set generieke faalfrequenties die voor waterstofslangen wordt toegepast. Wanneer wordt uitgegaan van de faalfrequenties van standaard slangen, dan wordt het scenario van een breuk van de slang representatief geacht voor het bepalen van de interne scheidingsafstanden. Wanneer de faalfrequenties van LPG-slangen worden toegepast, dan is het scenario van een lek aan de slang representatief voor het bepalen van de interne scheidingsafstanden.

OP BASIS VAN VLAAMSE QRA (ALTERNATIEF) – Een alternatieve methode voor het selecteren van een representatief vrijzettingsscenario (leksscenario) bij het bepalen van interne

scheidingsafstanden betreft de zgn. risico-geïnformeerde methode⁽⁶⁰⁾ [12]. In de risico-geïnformeerde methode worden verschillende inzichten uit een QRA (o.a. met betrekking tot faalfrequenties, vervolgcansen en bijdragen van verschillende scenario's tot een bepaald risiconiveau) gebruikt bij de selectie van een representatief lekscenario. Het uitgangspunt van een risico-geïnformeerde methode is echter hetzelfde als bij een risico-gebaseerde methode, nl. dat het berekend risico op en afstand groter of gelijk aan de te bepalen scheidingsafstand kleiner moet zijn dan een vooropgesteld risicocriterium⁽⁶¹⁾.

In Vlaanderen wordt bijvoorbeeld een risicocriterium van $1,0 \cdot 10^{-5}$ per jaar gehanteerd ter hoogte van de terreinsgrens van een Seveso-inrichting. Dit criterium zou ook kunnen worden aangewend als uitgangspunt voor het bepalen van een scheidingsafstand tot personen in de directe omgeving van een waterstofverdeelininstallatie. Op basis van de resultaten en inzichten van de QRA (zie figuren III.3.1.6 en III.3.1.7) wordt dan vervolgens afgeleid dat de ligging van de $10^{-5}/j$ -contour ter hoogte van het aansluitpunt voor tube-trailers of batterijvoertuigen quasi uitsluitend wordt bepaald door het scenario van een breuk van de los- of koppelslang waarbij de terugslagklep aan de zijde van het tankstation correct werkt⁽⁶²⁾. Volgens de risico-geïnformeerde methode zou dit vrijzettingsscenario bijgevolg geselecteerd worden als representatief vrijzettingsscenario voor het afbakenen van minimale scheidingsafstanden rond het los- of aankoppelpunt van de trailers.

Meer algemeen valt het te verwachten dat een selectie van representatieve vrijzettingsscenario's op basis van de risico-geïnformeerde methode met een risicocriterium van $10^{-5}/\text{jaar}$ als basis weinig zal verschillen van een selectie op basis van de pragmatische methode. Immers, de kans op ontsteking van beperkte waterstofvrijzettingen bedraagt 5% (vertraagde ontsteking) tot 20% (directe ontsteking) en de kans dat de effecten van een bepaald ongeval zich manifesteren in één bepaalde richting (i.e. geometriefactor) bedraagt ca. 10%, waardoor vrijzettingsscenario's met een kans op voorkomen van $5 \cdot 10^{-4}/j$ of hoger bepalend zullen zijn voor de ligging van de $10^{-5}/j$ -contour. Bijgevolg zal de meer eenvoudige pragmatische methode worden toegepast in onderhavige studie.

CONFORM NFPA 55 – Een belangrijk nadeel bij het toepassen van de hogerbeschreven pragmatische methode is dat de geselecteerde representatieve vrijzettingsscenario's voor het berekenen van de interne scheidingsafstanden uitsluitend gebaseerd zijn op de vrij ernstige vrijzettingsscenario's die voor de verschillende installatie-onderdelen in de QRA worden beschouwd en dat deze vrijzettingsscenario's enkel relevant zijn voor installatie-onderdelen die een minimaal aantal uren per jaar worden aangewend of die bestaan uit een groot aantal elementen (zie randvoorwaarden in tabel V.1.2.1). Voor installatie-onderdelen die op jaarbasis beperkt worden gebruikt of die bestaan uit een beperkt aantal elementen kunnen m.a.w. geen interne scheidingsafstanden worden bepaald. Voor andere onderdelen die frequent worden gebruikt of die bestaan uit een groot aantal elementen resulteert de methode daarentegen in vrij grote scheidingsafstanden.

Dit nadeel kan worden ondervangen door bij de bepaling van de interne scheidingsafstanden ook andere (minder ernstige) vrijzettingsscenario's in beschouwing te nemen dan

⁽⁶⁰⁾ Een risico-geïnformeerde methode verschilt van een risico-gebaseerde methode in die zin dat bij een risico-geïnformeerde methode enkel de inzichten van een QRA worden aangewend om één representatief lekscenario te selecteren. De interne scheidingsafstand wordt vervolgens bepaald op basis van de berekende effecten van dat ene specifieke lekscenario. Bij een risico-gebaseerde methode wordt het risico op schade aan personen en aan naburige installaties berekend uitgaande van een uitgebreide set van vrijzetting- en ongevalsscenario's. Een belangrijke beperking van een risico-gebaseerde methode is dat er grote onzekerheden (foutmarges) zijn in de gebruikte data en modellen en dat het gebruik van conservatieve aannames in de QRA een grote invloed kan hebben op de berekende scheidingsafstanden [17].

⁽⁶¹⁾ Het risico-criterium voor naburige personen bedraagt doorgaans $1,0 \cdot 10^{-5}$ tot $3,5 \cdot 10^{-5}$ per jaar en wordt typisch afgeleid op basis van een gemiddelde overlijdenskans van $2,0 \cdot 10^{-4}$ per jaar voor de minst kwetsbare bevolkingsgroep (10 - 15 jarigen).

⁽⁶²⁾ Deze stelling geldt enkel indien de generieke faalfrequenties van standaard slangen worden toegepast voor de slangen die worden aangewend op een waterstoftankstation.

louter deze die in een QRA worden bestudeerd. Zo stelt de NFPA 55 (editie 2016) dat een lekgrootte gelijk aan 3% van de maximale doorstroomoppervlakte (of 17,3% van de doorstroomdiameter) in de installatie kan worden aangenomen ter bepaling van de veiligheidsafstanden die rond de installatie dienen te worden aangehouden. In onderstaande paragrafen worden ook scheidingsafstanden bepaald op basis van het vrijzettingsscenario dat door de NFPA 55 (editie 2016) wordt voorgeschreven.

V.1.3. Criteria voor relevante schade aan personen en installaties

De gevolgen die te verwachten zijn na een vrijzetting van waterstofgas uit een installatieonderdeel of component zijn afhankelijk van het beschouwde vrijzettingsscenario (instantaan of continu) en van het feit of de betreffende component al dan niet aanwezig is in een besloten ruimte op het tankstation.

Voor componenten die staan opgesteld in openlucht (o.a. omvangrijke gasflessen- en cilinderbatterijen, trailers of batterijvoertuigen en flexibele los- en verdeelslangen) zijn de overdruk-effecten als gevolg van een druktankexplosie van een drukhouder en de stralingseffecten bij brand (vuurbal, fakkelbrand of wolkbrand) relevant voor naburige personen en installaties. Voor componenten die staan opgesteld in een besloten ruimte worden daarentegen enkel de overdruk-effecten van een gaswolkexplosie in de besloten ruimte relevant geacht.

EFFECTEN VAN EEN WOLKBRAND – In het geval van een wolkbrand is relevante schade aan naburige installaties niet te verwachten gelet op het kortstondige karakter van de brand. Relevante letsels aan personen zijn enkel te verwachten binnen het brandbare gedeelte van de wolk, dat wordt afgebakend door de onderste verbrandingsgrens van waterstof in lucht, zijnde 4 vol%.

EFFECTEN VAN EEN VUURBAL OF FAKKELBRAND – In het geval van een vuurbal of een fakkelbrand zijn relevante letsels aan personen en schade aan installaties te verwachten als gevolg van de thermische straling.

EFFECTEN VOOR PERSONEN – De effecten van thermische straling voor personen werden uitvoering bestudeerd via experimenten op dieren en personen. Het niveau van ongemak (pijn) of letsel bij blootstelling aan een brand wordt enerzijds bepaald door de invallende stralingswarmteflux en anderzijds door de duur van de blootstelling en wordt het best gecorreleerd aan de stralingsdosis (L):

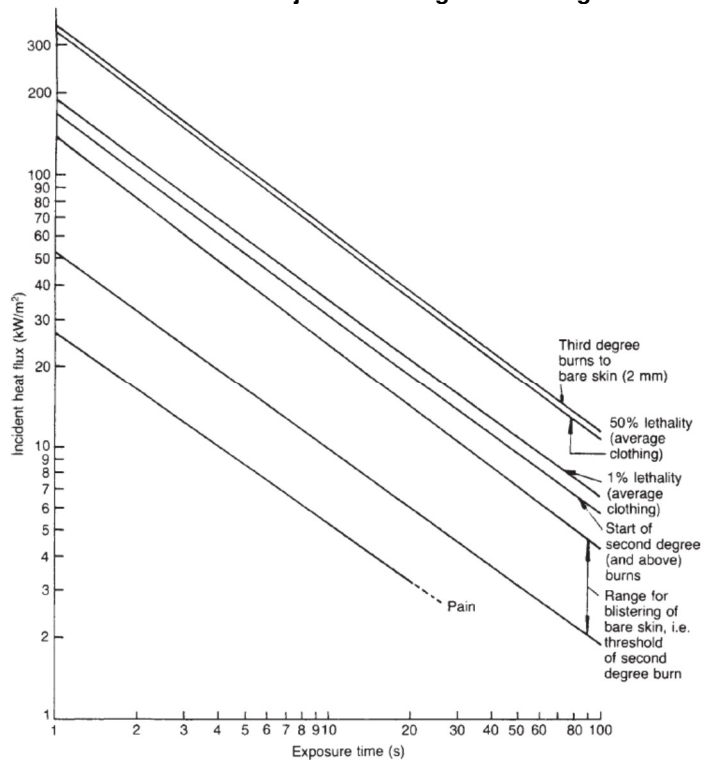
$$L = I^{4/3} \cdot t$$

met I de invallende stralingsflux [kW/m^2] en t de blootstellingsduur [s]. De drempelwaarden voor het optreden van ongemak en letsels bij de mens werden samengevat door Hymes en worden weergegeven in onderstaande tabel en figuur [13].

Tabel V.1.3.1: Drempelwaarden voor het optreden van effecten op personen

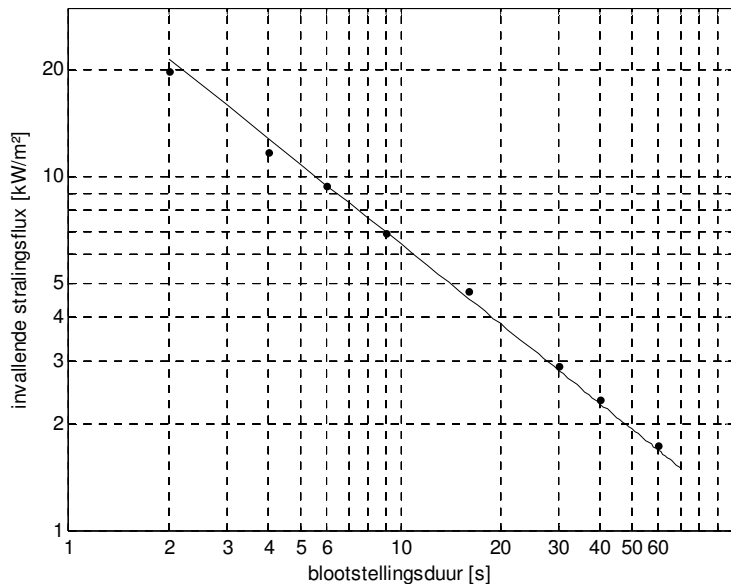
Effect	Drempelwaarde voor de stralingsdosis [$(\text{kW}/\text{m}^2)^{4/3}\text{s}$]
Pijngrens	92
Optreden van brandblaren	210 – 700
Tweedegraads brandwonden	1200
Derdegraads brandwonden	2600

Figuur V.1.3.1: Tijd tot het optreden van verschillende niveaus van ongemak en letsels bij blootstelling aan stralingswarmte



Een andere correlatie voor het optreden van pijn bij blootstelling aan brand wordt gegeven in API 521 en is gebaseerd op het experimentele werk van Buettner. Op basis van de experimentele data van Buettner wordt een drempelwaarde van ca. $120 \text{ (kW/m}^2)^{4/3}\text{s}$ bekomen voor het optreden van ondraaglijke pijn [14].

Figuur V.1.3.2: Pijngrens bij blootstelling van personen aan stralingswarmte



Tabel V.1.3.2: Minimale tijd tot het optreden van bepaalde effecten in functie van de invallende stralingswarmteflux waaraan personen worden blootgesteld

Invallende stralingsflux [kW/m ²]	tijd van blootstelling die resulteert in ...		
	pijn (ondergrens)	pijn (ondraaglijk)	brandblaren
1,5	53,6 s	69,9 s	122,3 s
3	21,3 s	27,7 s	48,5 s
5	10,8 s	14,0 s	24,6 s
10	4,3 s	5,7 s	9,7 s

Uitgaande van een tijdspanne van ca. 15 seconden die een persoon nodig heeft om een veilige schuilplaats te vinden of weg te vluchten van de brandhaard, wordt een invallende stralingswarmteflux van 5 kW/m² aanzien als een kritische grenswaarde voor het optreden van schade (letsels) aan personen in de omgeving van een brandhaard⁽⁶³⁾.

EFFECTEN VOOR INSTALLATIES – De kritische stralingswarmteflux die bij langdurige blootstelling aanleiding kan geven tot materiële schade aan een installatie of constructie is afhankelijk van het materiaal waaruit de betreffende installatie of constructie is opgebouwd. Het Groene Boek (TNO) geeft volgende kritische waarden voor schade aan constructies:

- ❑ voor installaties en constructies die zijn opgebouwd uit staal bedraagt de kritische stralingsflux respectievelijk 25 kW/m² voor het verkleuren, vervormen en afbladeren van de verflaag en 100 kW/m² voor het volledig bezwijken van de installatie of constructie [15].
- ❑ voor installaties en constructies met kunststof of houten onderdelen bedraagt de kritische stralingsflux respectievelijk 2 kW/m² voor het verkleuren, vervormen of afbladeren van de verflaag en 15 kW/m² voor het bezwijken van het kunststof onderdeel en het in brand geraken van een houten onderdeel [15].

In de Europese norm EN 13645 worden eveneens richtwaarden gegeven voor de maximale stralingsflux waaraan installaties kunnen worden blootgesteld en waarbij de opgelopen schade aanvaardbaar wordt geacht. Voor opslagtanks met een betonnen buitentank wordt een richtwaarde van 32 kW/m² vooropgesteld. Voor opslagtanks en procesinstallaties uit staal wordt een richtwaarde van 15 kW/m² gegeven.

In de IFC (International Fire Code) wordt met betrekking tot het bepalen van minimale scheidingsafstanden op een waterstoftankstation een kritische stralingsflux van 25 kW/m² (8.000 Btuh/ft²) gehanteerd voor onbrandbare installaties die langdurig worden blootgesteld aan brand [16].

Gelet op het feit dat installaties met gevaarlijke stoffen in de omgeving van een waterstofverdeelinstallatie hoofdzakelijk zijn opgebouwd uit staal en in mindere mate uit kunststof of hout, wordt in onderhavige studie een kritische grenswaarde van 15 kW/m² gehanteerd voor het optreden van relevante schade aan naburige installaties.

EFFECTEN VAN EEN EXPLOSIE – In het geval van een druktankexplosie of gasexplosie zijn relevante letsels aan personen en schade aan installaties hoofdzakelijk te verwachten als gevolg van de explosieoverdruk.

EFFECTEN VOOR PERSONEN – De effecten van overdruk zijn het meest uitgesproken voor personen die zich binnenhuis achter glas bevinden. Aangezien de versplintering van glazen ruiten te verwachten is vanaf een invallende overdruk van 56 mbar, wordt deze waarde ook

⁽⁶³⁾ In de Europese norm EN 13645 (Installaties en uitrusting voor vloeibaar aardgas - Ontwerp voor landinstallaties met een opslagcapaciteit tussen 5 t en 200 t) is een stralingswarmteflux van 5 kW/m² opgenomen als richtwaarde voor het bepalen van veiligheidsafstanden tot personen binnen de inrichting.

aanzien als een kritische grenswaarde voor het optreden van schade (letsels) aan personen⁽⁶⁴⁾ in de omgeving van de waterstofinstallatie.

EFFECTEN VOOR INSTALLATIES – In geval van een gasexplosie is schade aan naburige installaties of constructies te verwachten vanaf een overdruk van 100 mbar.

V.2. Bepalen van de interne scheidingsafstanden

In onderstaande paragrafen worden de interne scheidingsafstanden bepaald op basis van de geselecteerde representatieve vrijzettingsscenario's en de criteria voor relevante schade aan personen (invallende stralingsflux van 5 kW/m², een concentratie van 4 vol% H₂ in lucht en een explosieoverdruk van 56 mbar) en installaties (invallende stralingsflux van 15 kW/m² en een explosieoverdruk van 100 mbar).

De representatieve vrijzettingsscenario's werden enerzijds geselecteerd op basis van de QRA-studie die werd uitgevoerd ter bepaling van het mensrisico dat uitgaat van de waterstofverdeelinstallaties en werden anderzijds bepaald op basis van een representatieve lek grootte gelijk aan 3% van de maximale doorstroomoppervlakte in de installatie conform de NFPA 55 (editie 2016).

V.2.1. Vrijzettingsscenario's op basis van Vlaamse QRA

V.2.1.1. Componenten die staan opgesteld in openlucht

GASFLESBATTERIJEN – Voor omvangrijke gasflesbatterijen (> 225 flessen) die staan opgesteld in openlucht wordt het risico dat uitgaat van de component hoofdzakelijk bepaald door de effecten van een fysische explosie van een fles. Tabel V.2.1.1 toont de berekende minimale interne scheidingsafstanden tot locaties waar frequent personen aanwezig zijn en tot naburige installaties in functie van het individueel volume en de vuldruk van de flessen.

Tabel V.2.1.1: Minimale scheidingsafstanden tussen omvangrijke gasflesbatterijen in openlucht en naburige personen en installaties binnen de inrichting

gasfles		personen (buiten | binnen)			installaties		
volume	druk	200 bar	500 bar	1000 bar	200 bar	500 bar	1000 bar
50 liter		5 m | 16 m	6 m | 22 m	7 m | 24 m	10 m	12 m	14 m
80 liter		6 m | 19 m	7 m | 24 m	9 m | 28 m	11 m	15 m	17 m
150 liter		7 m | 24 m	10 m | 30 m	12 m | 34 m	14 m	18 m	22 m

CILINDERBATTERIJEN – Voor omvangrijke cilinderbatterijen (> 23 cilinders) die staan opgesteld in openlucht wordt het risico dat uitgaat van de component hoofdzakelijk bepaald door de effecten van een fakkelbrand of wolkbrand (enkel personen) na een lek aan een cilinder. Tabel V.2.1.2 toont de berekende minimale interne scheidingsafstanden tot locaties waar frequent personen aanwezig zijn en tot naburige installaties in functie van het volume en de vuldruk van de cilinders.

⁽⁶⁴⁾ De grenswaarde is enkel relevant voor personen die zich binnenshuis achter glas kunnen bevinden en niet voor personen die buiten aanwezig zijn in de omgeving van een waterstofverdeelinstallatie.

Tabel V.2.1.2: Minimale scheidingsafstanden tussen omvangrijke cilinderbatterijen in openlucht en naburige personen en installaties binnen de inrichting

cilinder		personen			installaties		
volume	druk	200 bar	500 bar	1000 bar	200 bar	500 bar	1000 bar
≤ 1.000 liter		20 m	30 m	40 m	7 m	11 m	14 m
> 1.000 liter		30 m	45 m		11 m	15 m	

LOS- OF KOPPELSLANGEN – Voor standaard los- of koppelslangen die in openlucht worden gebruikt op het station wordt het risico dat uitgaat van de slang hoofdzakelijk bepaald door de effecten van een fakkelbrand of wolkbrand (enkel personen) na een breuk van de slang waarbij de aanwezige veiligheidsmaatregelen (terugslagklep en/of doorstroombegrenzer) correct functioneren. Tabel V.2.1.3 toont de berekende minimale interne scheidingsafstanden tot locaties waar frequent personen aanwezig zijn en tot naburige installaties in functie van het al dan niet gebruiken van een doorstroombegrenzer, de slangdiameter en de maximale druk in de slang.

Tabel V.2.1.3: Minimale scheidingsafstanden tussen los- en koppelslangen en naburige personen en installaties binnen de inrichting (o.b.v. faalfrequenties van standaard slangen)

standaard slangen zonder doorstroombegrenzer		personen		installaties	
diameter	druk	200 bar	500 bar	200 bar	500 bar
6 mm		12 m	21 m	8 m	11 m
8 mm		20 m	30 m	11 m	16 m
10 mm		26 m	41 m	14 m	20 m
12 mm		33 m	57 m	16 m	22 m
standaard slangen met doorstroombegrenzer		personen		installaties	
diameter	druk	200 bar	500 bar	200 bar	500 bar
6 mm		11 m	14 m	niet relevant	
8 mm		13 m	16 m		
10 mm		15 m	18 m		
12 mm		16 m	20 m		

Voor LPG-slangen die in openlucht worden gebruikt op het station wordt het risico dat uitgaat van de slang hoofdzakelijk bepaald door de effecten van een fakkelbrand of wolkbrand (enkel personen) na een lek aan de slang. Tabel V.2.1.4 toont de berekende minimale interne scheidingsafstanden tot locaties waar frequent personen aanwezig zijn en tot naburige installaties in functie van de slangdiameter en de maximale druk in de slang.

Tabel V.2.1.4: Minimale scheidingsafstanden tussen los- en koppelslangen en naburige personen en installaties binnen de inrichting (o.b.v. faalfrequenties van LPG-slangen)

LPG-slangen		personen		installaties	
diameter	druk	200 bar	500 bar	200 bar	500 bar
6 mm		2 m	3 m	2 m	2 m
8 mm		2 m	3 m	2 m	2 m
10 mm		3 m	4 m	2 m	3 m
12 mm		3 m	5 m	3 m	4 m

VERDEELSLANGEN – Voor standaard verdeelslangen die in openlucht worden gebruikt op het station wordt het risico dat uitgaat van de slang hoofdzakelijk bepaald door de effecten van een wolkbrand (enkel personen) na een breuk van de slang waarbij de aanwezige veiligheidsmaatregelen (terugslagklep en doorstroombegrenzer) correct functioneren. Tabel V.2.1.5 toont de berekende minimale interne scheidingsafstanden tot locaties waar

frequent personen aanwezig zijn en tot naburige installaties in functie van de slangdiameter en de maximale afleverdruk.

Tabel V.2.1.5: Minimale scheidingsafstanden tussen verdeelslangen en naburige personen en installaties binnen de inrichting (o.b.v. faalfrequenties van standaard slangen)

standaard slangen		personen		installaties	
diameter	druk	350 bar	700 bar	350 bar	700 bar
6 mm		10 m	12 m	niet relevant	
8 mm		12 m	15 m		
10 mm		15 m	17 m		
12 mm		16 m	18 m		

Voor LPG-slangen die in openlucht worden gebruikt op het station wordt het risico dat uitgaat van de slang hoofdzakelijk bepaald door de effecten van een fakkelbrand of wolkbrand (enkel personen) na een lek aan de slang. Tabel V.2.1.6 toont de berekende minimale interne scheidingsafstanden tot locaties waar frequent personen aanwezig zijn en tot naburige installaties in functie van de slangdiameter en de maximale druk in de slang.

Tabel V.2.1.6: Minimale scheidingsafstanden tussen verdeelslangen en naburige personen en installaties binnen de inrichting (o.b.v. faalfrequenties van LPG-slangen)

LPG-slangen		personen		installaties	
diameter	druk	350 bar	700 bar	350 bar	700 bar
6 mm		2 m	3 m	2 m	2 m
8 mm		3 m	4 m	2 m	3 m
10 mm		4 m	4 m	3 m	3 m
12 mm		4 m	5 m	3 m	4 m

V.2.1.2. Componenten die staan opgesteld in een besloten ruimte

Voor componenten die staan opgesteld in een besloten ruimte (o.a. compressoren en lokale productie-eenheden op basis van elektrolyse of stoomreforming) wordt het risico dat uitgaat van de componenten hoofdzakelijk bepaald door de effecten van een gasexplosie na een waterstoflek in een slecht geventileerde ruimte⁽⁶⁵⁾.

Tabel V.2.1.7 toont de berekende minimale scheidingsafstanden tot locaties waar frequent personen binnen achter glas aanwezig kunnen zijn en tot naburige installaties met gevaarlijke stoffen. De scheidingsafstanden werden berekend voor componenten die staan opgesteld in een besloten ruimte die al dan niet is voorzien van een adequaat explosiedruk-ontlastingssysteem (explosieluiken). De scheidingsafstanden werden bepaald als de afstand tot een invallende explosieoverdruk van 56 mbar (voor personen) en 100 mbar (voor installaties).

Tabel V.2.1.7: Minimale scheidingsafstanden tussen installaties in besloten ruimten en naburige personen en installaties binnen de inrichting

Volume van de besloten ruimte (*)	personen (binnen)		installaties	
	met explosieluiken	zonder explosieluiken	met explosieluiken	zonder explosieluiken
10 ft container	6 m	21 m	3 m	13 m
20 ft container	7 m	27 m	3 m	17 m
30 ft container	8 m	31 m	4 m	19 m
40 ft container	9 m	34 m	4 m	21 m

(*) In de berekeningen wordt aangenomen dat het vrije volume in de ruimte gelijk is aan 2/3 van het brutovolume van de ruimte.

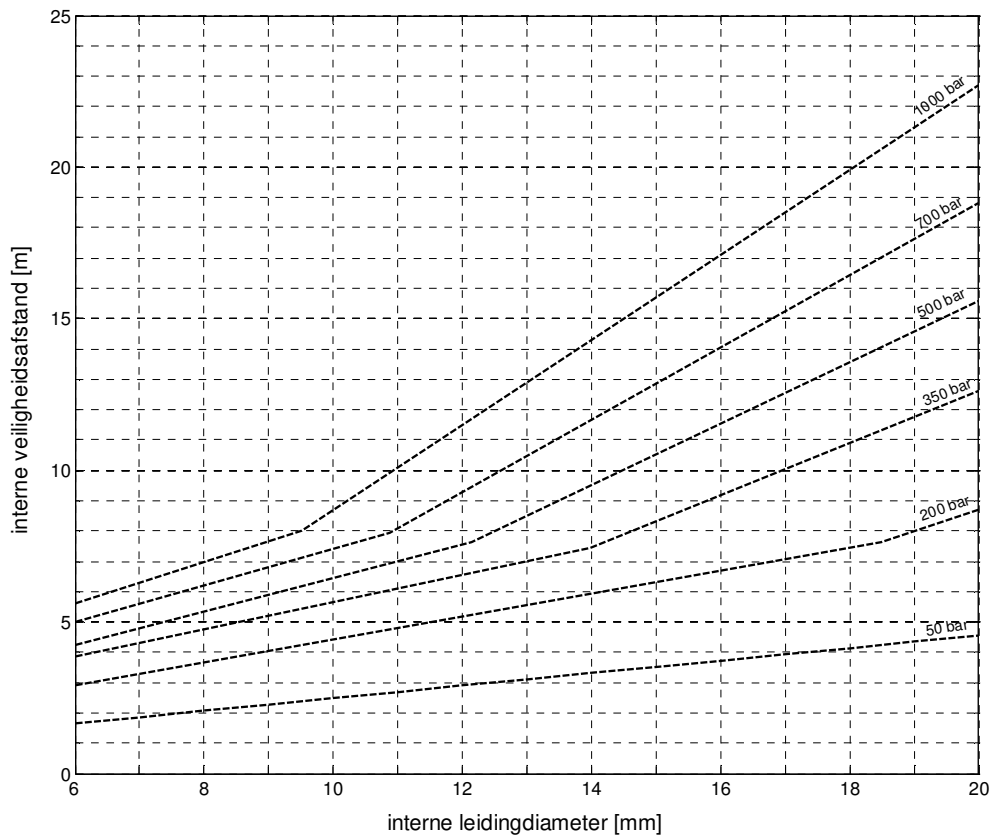
⁽⁶⁵⁾ Een slecht geventileerde ruimte kan ook ontstaan door een falen van een actief ventilatiesysteem dat in geval van een incidentele vrijzetting wordt aangesproken.

V.2.2. Vrijzettingsscenario's conform NFPA 55 (editie 2016)

V.2.2.1. Componenten die staan opgesteld in openlucht

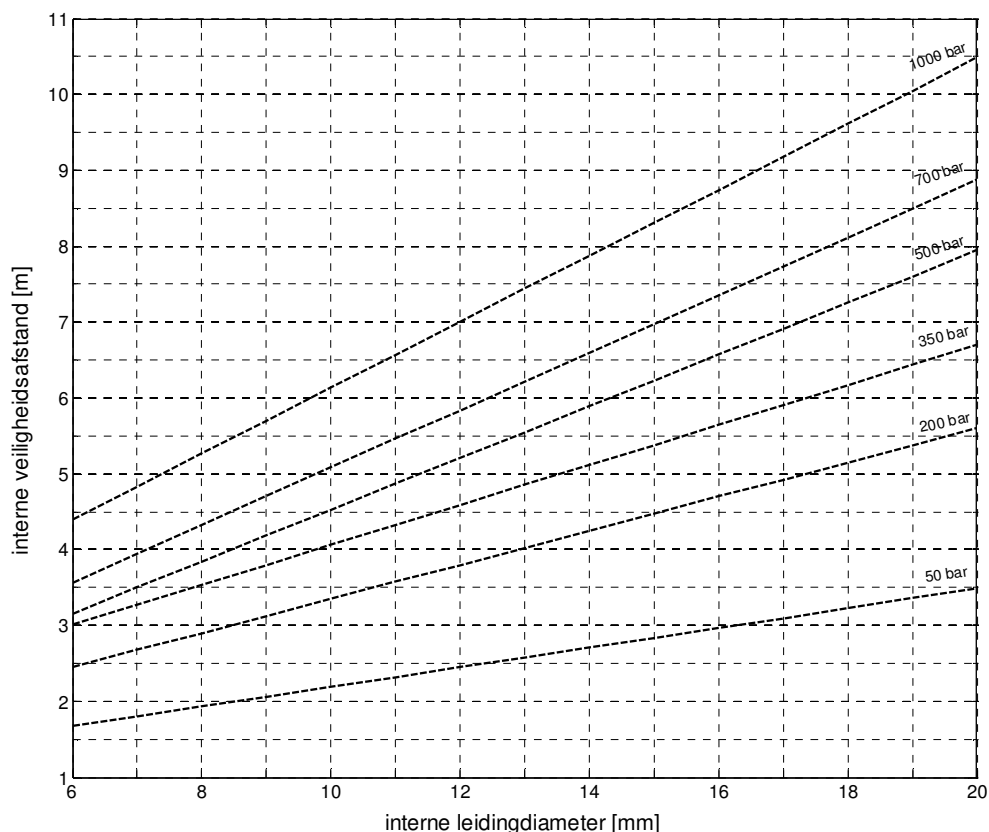
Figuren V.2.2.1 toont de berekende interne scheidingsafstanden tot naburige personen in functie van de werkingsdruk en de interne leidingdiameter in de installatie. De afstanden werden bepaald uitgaande van een leksgrootte gelijk aan 3% van de maximale doorstroomoppervlakte en een invallende stralingsflux van 5 kW/m² (ontstoken jet) en een waterstofconcentratie van 4 vol% (niet ontstoken jet).

Figuur V.2.2.1: Berekende interne scheidingsafstanden tot personen in functie van de werkingsdruk en de interne leidingdiameter in de installatie



Figuren V.2.2.2 toont de berekende interne scheidingsafstanden tot naburige installaties met gevaarlijke stoffen in functie van de werkingsdruk en de interne leidingdiameter in de installatie. De afstanden werden bepaald uitgaande van een leksgrootte gelijk aan 3% van de maximale doorstroomoppervlakte en een invallende stralingsflux van 15 kW/m² (ontstoken jet).

Figuur V.2.2.2: Berekende interne scheidingsafstanden tot installaties met gevaarlijke stoffen in functie van de werkingsdruk en de interne leidingdiameter in de installatie



V.2.2.2. Componenten die staan opgesteld in een besloten ruimte

Voor componenten die staan opgesteld in een besloten ruimte (o.a. compressoren en lokale productie-eenheden op basis van elektrolyse of stoomreforming) wordt het risico dat uitgaat van de componenten hoofdzakelijk bepaald door de effecten van een gasexplosie na een waterstoflek in een slecht geventileerde ruimte.

Bijkomend dienen in dat geval minimale scheidingsafstanden te worden gehanteerd tot locaties waar frequent personen binnen achter glas aanwezig kunnen en tot naburige installaties. Deze minimale scheidingsafstanden die werden bepaald als de afstand tot een invallende explosieoverdruk van 56 mbar (voor personen) en 100 mbar (voor installaties) worden weergegeven in tabel V.2.1.7.

V.3. Evaluatie van de interne scheidingsafstanden

V.3.1. Toepasbaarheid van de verschillende selectiemethoden

SELECTIE OP BASIS VAN VLAAMSE QRA – De vrijzettingsscenario's die voor een waterstof-tankstation bestudeerd worden in een Vlaamse QRA ter bepaling van het extern mensrisico zijn vrij ernstige vrijzettingsscenario's met een relatief lage kans op voorkomen. Dit wil zeggen dat installatie-onderdelen dienen te bestaan uit een groot aantal elementen (bv. gasflessen of cilinders) of frequent gebruikt dienen te worden (bv. flexibele slangen) alvorens het vooropgestelde selectiecriteria (m.n. een kans op voorkomen van $2,5 \cdot 10^{-4}$ /j of meer) wordt overschreden.

Op basis van deze selectiemethode kunnen voor bepaalde installatie-onderdelen (bv. buffer bestaande uit een beperkt aantal gasflessen of cilinders) bijgevolg geen interne scheidingsafstanden worden afgeleid. Voor andere installatie-onderdelen worden daarentegen vrij omvangrijke interne scheidingsafstanden berekend, wat maakt dat de methode slechts beperkt toepasbaar is.

SELECTIE CONFORM NFPA 55 – In de NFPA 55 wordt voorgeschreven om de interne scheidingsafstanden te bepalen op basis van een lekscenario met een grootte gelijk aan 3% van de doorstroomoppervlakte, wat overeenkomt met 17,3% van de doorstroomdiameter. Het betreft een risico-geïnformeerde keuze waarbij zowel de lekfrequenties van de componenten als de risico verbonden aan diverse vrijzettingen in overweging werden genomen.

Op basis van deze selectiemethode is het steeds mogelijk om een scheidingsafstand te berekenen voor een bepaalde component of functioneel deel van het waterstoftankstation. Bovendien zullen de scheidingsafstanden die volgens deze methode worden bepaald toenemen in functie van de toegepaste leidingdiameters (of debieten) in de installatie.

CONCLUSIE – Het selecteren van een representatief vrijzettingsscenario voor het bepalen van de interne scheidingsafstanden uit de set van vrijzettingsscenario's die in een Vlaamse QRA worden bestudeerd is niet altijd mogelijk voor de installatie-onderdelen die voorkomen op een waterstoftankstation. Daarom wordt aanbevolen om het representatieve vrijzettingsscenario te baseren op de doorstroomoppervlaktes of –diameters van de installatie-onderdelen, zoals voorgeschreven door de NFPA 55.

V.3.2. Toetsen van scheidingsafstanden aan normen en codes

In de beschikbare normen en codes van goede praktijk (zie bijlage 4) worden interne scheidingsafstanden aanbevolen van 5 tot 8 m (EIGA 15/06), 4 tot 14 m (NFPA 55) en 2 tot 8,5 m (PGS 35) voor naburige personen en van 3 tot 8 m (EIGA 16/06), 4 tot 6 m (NFPA 55) en 2 tot 7 m (PGS 35) tot naburige installaties met gevaarlijke stoffen.

De interne scheidingsafstanden die in onderhavige studie werden afgeleid op basis van de vrijzettingsscenario's die in de QRA-studie werden beschouwd zijn beduidend groter dan de scheidingsafstanden die in de normen en codes van goede praktijk worden aanbevolen (zie §V.2.1). De interne scheidingsafstanden die werden afgeleid op basis van een representatieve lekgrootte gelijk aan 3% van de maximale doorstroomoppervlakte (cfr. NFPA 55, editie 2016) liggen daarentegen wel in lijn met de aanbevolen scheidingsafstanden uit de beschikbare normen en de codes van goede praktijk (zie §V.2.2).

VI. ANALYSE VAN HET GROEPSRISICO

VI.1. Groepsrisico van verschillende uitvoeringsvarianten

Om een beeld te krijgen van de ligging van de groepsrisicocurve van een waterstoftankstation wordt het groepsrisico eerst berekend voor de vijf uitvoeringsvarianten van een waterstoftankstation die worden beschreven in § IV.2. De belangrijkste componenten van de verschillende uitvoeringsvarianten worden opgelijst in onderstaande tabel.

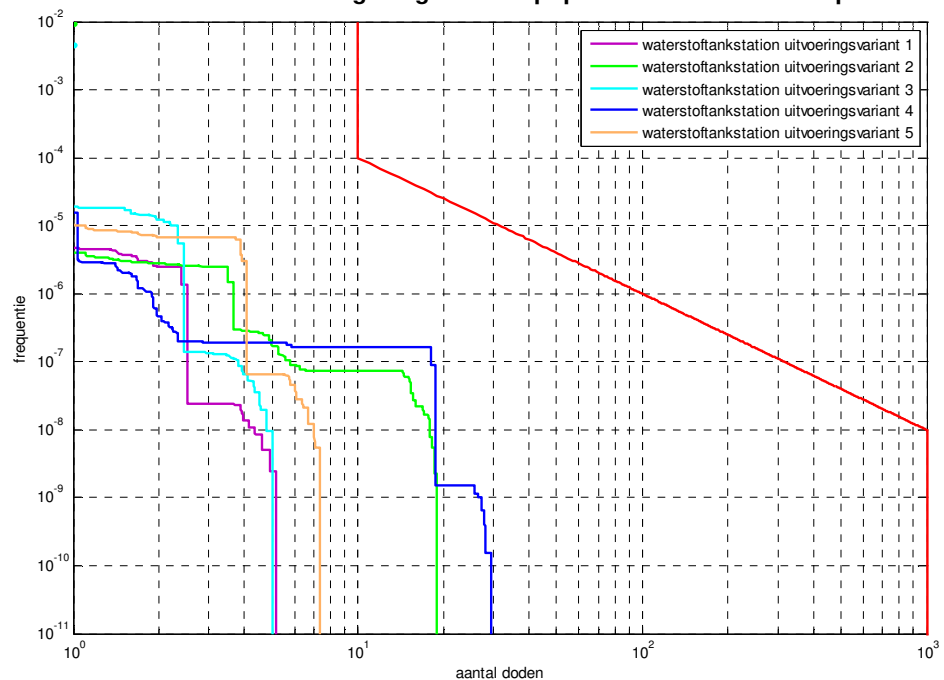
Tabel VI.1.1: Uitvoeringsvarianten van een waterstoftankstation die worden onderworpen aan een grondige analyse van het groepsrisico

Uitvoeringsvariant	Aanwezige standaard componenten	
Uitvoeringsvariant 1 (200 kg/dag)	Aanvoer of lokale productie Lagedruk opslag Middendruk compressor Middendruk buffer Hogedruk compressor Hogedruk buffer Verdeelzuilen	tube-trailer 18x 1.220 liter op 200 bar, gedurende 1.095 h/j op het station losslang 10 mm bij 200 bar, gedurende 730 h/j in gebruik 272 gasflessen van 50 liter op 200 bar compressor in 10 ft container, gedurende 3.650 h/j in gebruik 16 gasflessen van 50 liter op 500 bar compressor in 10 ft container, gedurende 730 h/j in gebruik 16 gasflessen van 50 liter op 1.000 bar verdeelslang 6 mm (700 bar) met doorstroombegrenzer – 1.095 h/j in gebruik
Uitvoeringsvariant 2 (200 kg/dag)	Aanvoer of lokale productie Lagedruk opslag Middendruk compressor Middendruk buffer Hogedruk compressor Hogedruk buffer Verdeelzuilen	transportleiding van 150 mm bij 100 bar (sectie van 5 m bovengronds en 5 m ondergronds op het station) - compressor in 10 ft container, gedurende 3.650 h/j in gebruik 2 cilinders van 1.000 liter op 500 bar compressor in 10 ft container, gedurende 730 h/j in gebruik 16 gasflessen van 50 liter op 1.000 bar verdeelslang 6 mm (700 bar) met doorstroombegrenzer – 1.095 h/j in gebruik
Uitvoeringsvariant 3 (200 kg/dag)	Aanvoer of lokale productie Lagedruk opslag Middendruk compressor Middendruk buffer Hogedruk compressor Hogedruk buffer Verdeelzuilen	elektrolyse-eenheden 2x 30 Nm ³ /h (2x 20ft container zonder explosieluiken) - compressor in 20 ft container, gedurende 3.650 h/j in gebruik 9 cilinders van 550 liter en 48 gasflessen van 50 liter bij 500 bar compressor in 20 ft container, gedurende 730 h/j in gebruik 2 cilinders van 250 liter en cilinders van 300 liter bij 1.000 bar verdeelslang 8 mm (350 bar) met doorstroombegrenzer – 120 h/j in gebruik verdeelslang 6 mm (700 bar) met doorstroombegrenzer – 400 h/j in gebruik
Uitvoeringsvariant 4 (600 kg/dag)	Aanvoer of lokale productie Lagedruk opslag Compressor Middendruk buffer Hogedruk buffer Verdeelzuilen	Batterijvoertuig 155x 315 liter op 200 bar, gedurende 1.200 h/j op het station losslang 10 mm bij 200 bar, gedurende 900 h/j in gebruik 1 ondergrondse opslagtank van 100 m ³ op 50 bar compressor in 20 ft container, gedurende 3.650 h/j in gebruik 39 gasflessen van 50 liter op 500 bar 18 gasflessen van 50 liter op 1.000 bar verdeelslang 8 mm (350 bar) met doorstroombegrenzer – 800 h/j in gebruik verdeelslang 6 mm (700 bar) met doorstroombegrenzer – 1.200 h/j in gebruik

Uitvoeringsvariant	Aanwezige standaard componenten	
Uitvoeringsvariant 5 (200 kg/dag)	Aanvoer of lokale productie	tube-trailer 9x 2.330 liter op 200 bar, gedurende 1.095 h/j op het station loslang 10 mm bij 200 bar, gedurende 730 h/j in gebruik
	Lagedruk opslag	5 cilinders van 2.500 liter op 200 bar
	Hogedruk compressor	compressor in 20 ft container, gedurende 1.095 h/j in gebruik
	Hogedruk buffer	10 gasflessen van 80 liter op 1.000 bar
	Verdeelzuilen	verdeelslang 6 mm (700 bar) met doorstroombegrenzer – 1.095 h/j in gebruik

Het groepsrisico wordt in eerste instantie bepaald voor een station dat gelegen is in een omgeving met een uniforme populatiedichtheid van 40 personen per hectare (zie figuur VI.1.1). Dergelijke populatiedichtheid komt overeen met een bedrijvenszone met een gemiddelde bezetting of deze die wordt teruggevonden in rustige tot drukker woonwijken [9].

Figuur VI.1.1 Groepsrisico van verschillende uitvoeringsvarianten van een waterstof-tankstation in een omgeving met een populatiedichtheid van 40 pers/ha



De groepsrisicocurven die voor de vijf bestudeerde uitvoeringsvarianten van een waterstof-tankstation worden berekend, bevinden zich allemaal ruim beneden het Vlaamse groepsrisicocriterium. Het groepsrisico dat voor uitvoeringsvarianten 1, 3 en 5 wordt berekend is nagenoeg verwaarloosbaar, aangezien geen enkel van de bestudeerde ongevallen aanleiding geeft tot 10 of meer doden. De groepsrisicocurven die worden berekend voor de overige twee uitvoeringsvarianten bevatten wel ongevalsscenario's die resulteren in 10 of meer doden. Voor uitvoeringsvariant 4 wordt het groepsrisico grotendeels bepaald door een druktankexplosie van de ondergrondse opslagdruktank (100 m³). Voor uitvoeringsvariant 2 wordt het groepsrisico in grote mate bepaald door een gaswolkexplosie na een leidingbreuk of groot lek in de bovengrondse sectie van de waterstoftransportleiding.

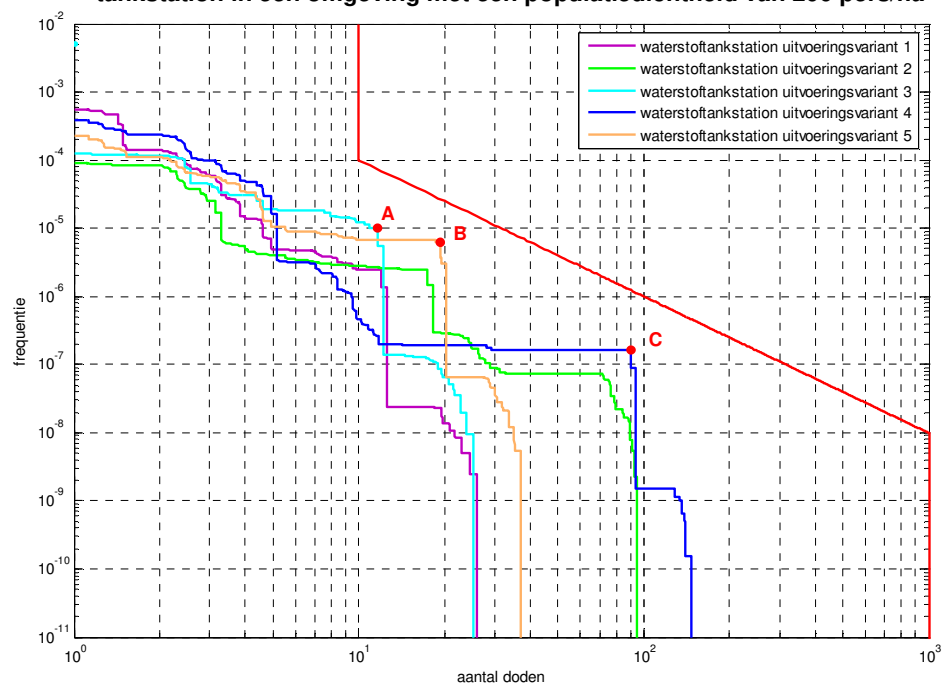
VI.2. Impact van de populatiedichtheid op het groepsrisico

Het groepsrisico van een waterstof-tankstation wordt naast de uitvoering van het station ook sterk bepaald door de omvang van de aanwezige populatie in de omgeving van het station. Daarom wordt het groepsrisico van de hoger beschreven uitvoeringsvarianten van een

waterstoftankstation hieronder opnieuw doorgerekend met een hogere waarde voor de populatiedichtheid in de omgeving van het station.

Voor industriegebieden met hoge populatiedichtheden en voor drukke woonwijken worden waarden tot 80 personen per hectare aanbevolen [9]. Deze dichtheden zijn gemiddelden over relatief grote gebieden, terwijl de omvang van de schadegebieden van de ongevallen die in voorliggende studie worden bestudeerd eerder beperkt zijn. Om rekening te kunnen houden met zones in het industrie- of woongebied waar lokaal mogelijk hogere populatiedichtheden voorkomen, wordt de gemiddelde waarde van 80 personen per hectare verhoogd tot 200 personen per hectare. Concreet impliceert deze aanname dat er in een perimeter van 50 en 100 meter rondom de installaties van het waterstoftankstation respectievelijk 157 en 630 personen aanwezig zijn. De groepsrisicocurven die berekend worden voor de bestudeerde uitvoeringsvarianten van een tankstation in een omgeving met een populatiedichtheid van 200 personen per hectare worden getoond in figuur VI.2.1.

Figuur VI.2.1 Groepsrisico van verschillende uitvoeringsvarianten van een waterstoftankstation in een omgeving met een populatiedichtheid van 200 pers/ha



Uit bovenstaande figuur wordt afgeleid dat de groepsrisicocurven die uitgaan van de vijf bestudeerde uitvoeringsvarianten van een waterstoftankstation in een omgeving met een populatiedichtheid van 200 personen per hectare nog steeds voldoen aan het groepsrisicocriterium. De punten van de groepsrisicocurven die het meest kritisch liggen worden op figuur VI.2.1 aangeduid met de letters A, B en C. Bij een verdere verhoging van de populatiedichtheid zullen deze punten naar rechts verschuiven en als eerste punt van de respectievelijke curven het groepsrisicocriterium raken. Op basis van de ligging van de punten A, B en C wordt afgeleid dat de groepsrisicocurven van uitvoeringsvariant 3, 5 en 4 het groepsrisicocriterium zullen raken bij een uniforme populatiedichtheid van respectievelijk 538 personen per hectare (in punt A), 412 personen per hectare (in punt B) en 552 personen per hectare (in punt C). De groepsrisicocurven van de overige twee uitvoeringsvarianten zullen het risicocriterium pas bereiken bij een uniforme populatiedichtheid van meer dan 700 personen per hectare in de omgeving van het station.

De ongevalsscenario's die ter hoogte van het kritische punt het meest bijdragen tot het groepsrisico zijn een druktankexplosie van een cilinder (550 liter) in de middendruk buffer (punt A), een druktankexplosie van een cilinder (2.500 liter) in de lagedruk opslagbuffer

(punt B) en een druktankexplosie van een ondergrondse druktank (100 m³) die fungeert als lagedruk opslagbuffer (punt C).

Op basis van de bovenstaande figuur wordt verder afgeleid dat de groepsrisicocurven van waterstoftankstations met een gelijkaardige doorzet sterk kunnen verschillen naargelang de wijze waarop het station wordt bevoorraad (via een waterstoftransportleiding, lokale productie of trailers) en de manier waarop de buffers zijn opgebouwd (aantal elementen en het individueel volume van de elementen). Vanuit het oogpunt van het groepsrisico lijkt het grootste risico echter steevast uit te gaan van het scenario van een druktankexplosie van een drukhouder die een grote hoeveelheid waterstof bevat en langdurig op het station aanwezig is.

VI.3. Impact van de aanvoer via batterijvoertuigen op 500 bar

In de voorgaande paragrafen worden drie uitvoeringsvarianten van een waterstoftankstation beschouwd die worden bevoorraad door tube-trailers of batterijvoertuigen op een druk van 200 bar. Een vuldruk van 200 bar wordt heden vaak aangehouden bij het transport van gasvormig waterstof over de weg.

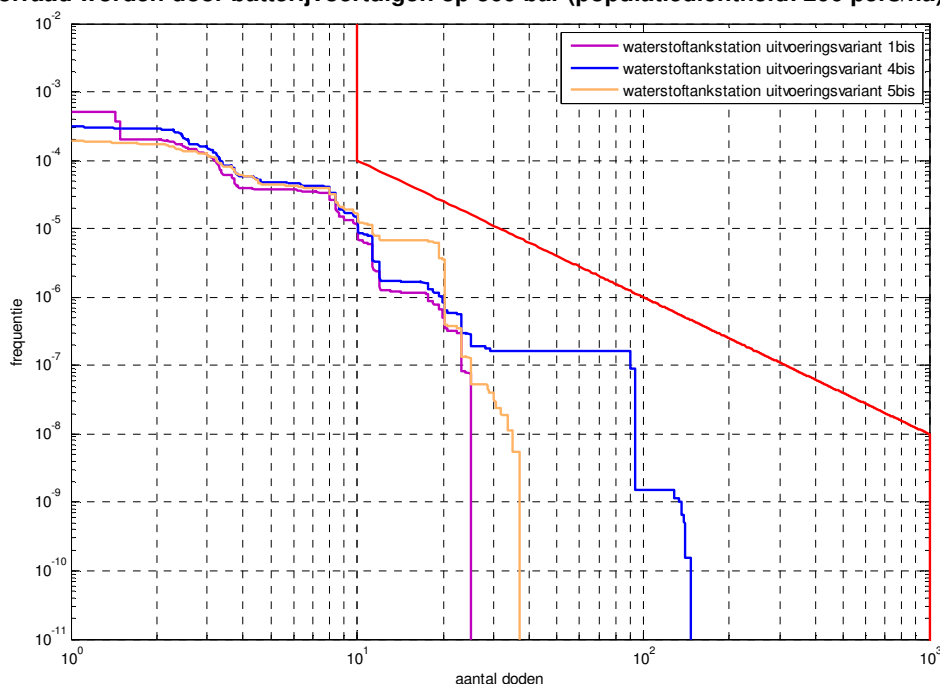
Ontwikkelingen op het vlak van de transportvoertuigen hebben ertoe geleid dat er recent ook batterijvoertuigen beschikbaar zijn die waterstof kunnen transporteren bij drukken tot 500 bar. Deze batterijvoertuigen beschikken over een groot aantal composieten cilinders. De losbeurt van een batterijvoertuig op hoge druk neemt ook minder tijd in beslag door het grotere drukverschil met de vaste opslag op het station. De aanvoer van waterstof via dergelijke batterijvoertuigen en het lossen van dergelijke voertuigen op het tankstation zal een impact hebben op de ligging van de groepsrisicocurve.

Om dit verschil te duiden wordt het groepsrisico van de uitvoeringsvarianten die worden bevoorraad door tube-trailers of batterijvoertuigen (i.c. uitvoeringsvariant 1, 4 en 5) hernomen met inachtnaam van een mogelijke bevoorrading via batterijvoertuigen op een druk van 500 bar (zie tabel VI.3.1). De berekende groepsrisicocurven voor deze gewijzigde uitvoeringsvarianten worden getoond in figuur VI.3.1.

Tabel VI.3.1: Gewijzigde aannames voor de bevoorrading van de uitvoeringsvarianten 1, 4 en 5 van een waterstoftankstation

Uitvoeringsvariant	Aanwezige standaard componenten	
Uitvoeringsvariant 1bis	Aanvoer of lokale productie	Batterijvoertuig 155x 315 liter op 500 bar, gedurende 730 h/j op het station losslang 10 mm bij 500 bar, gedurende 480 h/j in gebruik
Uitvoeringsvariant 4bis	Aanvoer of lokale productie	Batterijvoertuig 155x 315 liter op 500 bar, gedurende 900 h/j op het station losslang 10 mm bij 500 bar, gedurende 600 h/j in gebruik
Uitvoeringsvariant 5bis	Aanvoer of lokale productie	Batterijvoertuig 155x 315 liter op 500 bar, gedurende 730 h/j op het station losslang 10 mm bij 500 bar, gedurende 480 h/j in gebruik

Figuur VI.1.3 Groepsrisico van uitvoeringsvarianten van een waterstoftankstation die bevoorradt worden door batterijvoertuigen op 500 bar (populatiedichtheid: 200 pers/ha)



Uit figuren VI.2.1 en VI.3.1 volgt dat de aanvoer van waterstof via batterijvoertuigen met een hogere vuldruk (500 bar) een duidelijke invloed heeft op de ligging van de groepsrisico-curven in het bereik van 5 tot 30 doden. In de groepsrisicocurven van uitvoeringsvarianten 1bis, 4bis en 5bis wordt de ligging van het kritische punt hoofdzakelijk bepaald door het scenario van een gaswolkexplosie na een breuk van de 10 mm los slang en een druktankexplosie van een cilinder (315 liter) op het batterijvoertuig. Op basis van de ligging van de kritische punten wordt afgeleid dat de groepsrisicocurven van uitvoeringsvarianten 1bis, 4bis en 5bis het groepsrisicocriterium zullen raken bij een uniforme populatiedichtheid van respectievelijk 432 personen per hectare (variant 1bis), 386 personen per hectare (variant 4bis) en 400 personen per hectare (variant 5bis).

VI.4. Voorstel evaluatiemethode groepsrisico

EENVOUDIGE METHODE – Een mogelijke evaluatie van het groepsrisico voor een waterstoftankstation zou eruit kunnen bestaan om na te gaan of de populatiedichtheid in de omgeving van het station niet boven een kritische waarde uitkomt.

Op basis van de groepsrisicoberekeningen die in de bovenstaande paragrafen zijn uitgevoerd voor 8 uitvoeringsvarianten van een waterstoftankstation kan verwacht worden dat het groepsrisico van een tankstation zal voldoen aan het risicocriterium wanneer de uniforme populatiedichtheid in de omgeving van het station beperkt blijft tot 385 à 400 personen per hectare. Omdat deze waarde werd afgeleid voor een beperkt aantal uitvoeringsvarianten kan hier nog een veiligheidsmarge⁽⁶⁶⁾ ingebouwd worden en uitgegaan worden van een kritische populatiedichtheid van bijvoorbeeld 350 personen per hectare.

De vastgelegde kritische populatiedichtheid wordt vervolgens vertaald naar de aanwezigheid van een aantal personen binnen de maximale effectafstand van de risicobepalende componenten op het station. Een voorbeeld wordt gegeven in de onderstaande tabel.

⁽⁶⁶⁾ Ondanks de toegepaste veiligheidsmarge kan niet met zekerheid worden gesteld dat een evaluatie op basis van de eenvoudige methode steeds conservatief zal zijn.

Wanneer het aantal personen binnen de maximale effectafstand rond een component niet boven de in tabel VI.4.1 gegeven aantallen komt dan zal het resulterende groepsrisico voldoen aan het risicocriterium.

Tabel VI.4.1 Max. aantal personen t.h.v. een waterstoftankstation (capaciteit \leq 200 kg/dag)

Afstand ten opzichte van de waterstofinstallaties [m]					
0 - 25	0 - 35	0 - 45	0 - 60	0 - 75	0 - 145
70 personen	135 personen	220 personen	395 personen	620 personen	2.310 personen

De voor het groepsrisico relevante maximale effectafstanden van de verschillende componenten worden gegeven in tabel VI.4.2.

Tabel VI.1.1: Uitvoeringsvarianten van een waterstoftankstation die worden onderworpen aan een grondige analyse van het groepsrisico

Druk	Component	Max. effectafstand
50 bar	Vaste druktank (\leq 150 m ³)	145 m
200 bar	Gasflessen (\leq 150 liter)	25 m
	Cilinders ($<$ 1000 liter)	45 m
	Cilinders (\geq 1000 liter)	60 m
500 bar	Gasflessen (\leq 150 liter)	30 m
	Cilinders ($<$ 1000 liter)	55 m
	Cilinders (\geq 1000 liter)	75 m
1000 bar	Gasflessen (\leq 150 liter)	35 m
	Cilinders ($<$ 1000 liter)	60 m

UITGEBREIDE METHODE – De populatie die in de omgeving van een waterstoftankstation aanwezig is, kan ook begrensd worden in functie van de specifieke componenten waaruit het tankstation is opgebouwd. Vertrekkende van het groepsrisicocriterium en de componenten die bepalend zijn voor het groepsrisico van een waterstoftankstation, kunnen er zo specifieke voorwaarden worden opgelegd met betrekking tot de maximale populatie die rond elke component kan worden toegelaten. De verschillende voorwaarden die uitgaan van de voor het groepsrisico relevante componenten zijn geïntegreerd in een ter beschikking gestelde softwaretool.

VII. REFERENTIES

- [1] *Risk Assessment Studies of Hydrogen and Hydrocarbon Fuels Fuelling Stations, Task 19 – Hydrogen Safety*, International Energy Agency Hydrogen Implementing Agreement, January 2008.
- [2] *Veiligheidsonderzoek Waterstof Tankstation (van Air Liquide te Zaventem)*, Sertius, 20 april 2015.
- [3] *Veiligheidsonderzoek Waterstof Tankstation (van Dats24 te Halle)*, Sertius, 29 april 2016.
- [4] *QRA H₂ Refuelling Station (van Air Liquide te Rhoon)*, Tebodin, 18 november 2013.
- [5] *Risicoanalyse verplaatsbaar waterstofvulstation (van WaterstofNet te Helmond)*, Aviv, 8 september 2017.
- [6] *Handboek Risicoberekeningen - ontwerpversie*, Vlaamse Overheid, Departement LNE, Dienst VR, augustus 2017.
- [7] *Een code van goede praktijken inzake risicocriteria voor externe mensrisico's van Seveso-inrichtingen*, Departement LNE, oktober 2006.
- [8] *User's manual for SLAB: an atmospheric dispersion model for denser-than-air releases*, Report UCRL-MA-106607, D. Ermak, Lawrence Livermore National Laboratory, 1990.
- [9] *PGS2 Methods for the Calculations of Physical Effects (Gele Boek)*, Committee for the Prevention of Disasters, 2005.
- [10] *An improved model for the prediction of radiant heat from fireballs*, Martinsen W.E. en Marx, J.D., International Conference and Workshop on Modeling Consequences of Accidental Releases of Hazardous Materials, San Francisco, USA, 1999.
- [11] *Determination Of Safety Distances*, IGC Doc 75/07/E, European Industrial Gases Association (EIGA), Brussels, 2007.
- [12] *Analyses to Support Development of Risk-Informed Separation Distances for Hydrogen Codes and Standards – Internal Safety Distances*, SANDIA REPORT, 2009.
- [13] *Lees' Loss Prevention in the Process Industries*, Elsevier, Amsterdam, Mannan, S. (editor), 4rd Edition, 2012.
- [14] *Effect of Fire on People - Lees' Loss Prevention in the Process Industries*, Elsevier, Amsterdam, Buettner, 4rd Edition, 2012.
- [15] *PGS 1 Methods for the Determination of Possible Damage (Groene Boek)*, Committee for the Prevention of Disasters, 1st Ed, 1992.
- [16] *2015 International Fire Code*, International Code Council, January 2016.
- [17] *Persoonlijke communicatie met dhr. van Tol (Maximator)*, 3 april 2018.

Leeg blad

VIII. BIJLAGEN

1. Gevaarseigenschappen en fysische kenmerken van waterstof
2. Meteorologische gegevens die in beschouwing werden genomen in de QRA
3. Scenariotabel met maximale effectafstanden en ongevalfrequenties
4. Overzicht van bepalingen uit normen en wetgeving aangaande minimale scheidingsafstanden

Leeg blad

VIII.1. Bijlage 1: Gevaarseigenschappen en fysische kenmerken van waterstof

Waterstof is een kleurloos, reukloos en smaakloos gas. Het heeft van alle gassen de kleinste dichtheid en is bijna 15 maal lichter dan lucht. Daardoor zal waterstofgas bij een emissie snel diffunderen en opstijgen wat een voordeel is in open lucht. In tegenstelling hiermee is het een mogelijk nadeel bij een vrijzetting in inwendige slecht verluchte ruimtes. Het gas zal er zich mogelijk verzamelen in het hoogste punt waarbij in het geval van ontsteking mogelijk een explosie plaatsvindt.

De minimale ontstekingsenergie die nodig is om een waterstof/lucht-mengsel te ontsteken bedraagt 0,01 mJ wat erg laag is in vergelijking met andere ontvlambare gassen. Een fractie van de energie van een ontlading van statische elektriciteit, een boog of een vonk volstaat om waterstof te ontsteken. Vanwege de zeer lage ontstekingsenergie dient bij een lek van waterstof op hoge druk rekening gehouden te worden met spontane ontsteking door wrijving of statische elektriciteit.

In tegenstelling tot de gassen die voldoen aan de ideale gaswet waar een ontspanning steeds met een temperatuurdaling gepaard gaat, heeft waterstof onder druk de eigenschap dat de ontspanning gepaard kan gaan met een temperatuurstijging (omgekeerde Joule-Thomson effect).

Waterstof brandt omwille van de afwezigheid van koolstof in de verbinding met een bleke blauwe vlam die overdag praktisch onzichtbaar is.

Waterstof is niet toxisch, maar kan bij vrijzetting in slecht geventileerde besloten ruimten verstikkend werken door reductie van de normale zuurstofconcentratie in de lucht.

De belangrijkste fysico-chemische kenmerken en gevaarseigenschappen van aardgas worden samengevat in tabel X.1.1

Tabel VIII.1.1 Gevaarseigenschappen en fysische kenmerken waterstof

Identificatie en etikettering [Chemiekaarten 2017]		
Structuurformule		H ₂
CAS-nummer		1333-74-0
UN-nummer		1049
CLP (H-zinnen)		H220 ontvlambare gassen categorie 1 H280 gassen onder druk, samengeperste gassen
Fysico-chemische eigenschappen [DIPPR 2015]		
Moleculair gewicht	[g/mol]	2,02
Normaal kookpunt	[°C]	-252,76
Smeltpunt	[°C]	-259,20
Dampspanning bij -240°C	[bar]	13,08
Dampdichtheid (p _{atm} , 13°C)	[kg/m ³]	0,086
Dampdichtheid (200 bar, 13°C)	[kg/m ³]	15,13
Dampdichtheid (450 bar, 13°C)	[kg/m ³]	29,43
Dampdichtheid (1.000 bar, 13°C)	[kg/m ³]	47,87

Gevaar-eigenschappen [Chemiekaarten & DIPPR 2015]		
Verbrandingswarmte	[MJ/kg]	119,96
Vlampunt	[°C]	-259,15
Zelfontstekingstemperatuur	[°C]	520°C
Brandbaarheidsgrenzen, volume in lucht	[%]	4 – 75
Minimale ontstekingsenergie	[mJ]	0,011
Verbrandingswarmte	[MJ/kg]	119,96
Toxiciteit		geen gekende toxische effecten

VIII.2. Bijlage 2: Meteorologische gegevens die werden aangewend in de QRA

VIII.2.1. Algemene meteorologische parameters

De algemene meteorologische parameters waarmee rekening wordt gehouden bij het uitvoeren van de kwantitatieve risicoanalyse worden weergegeven in tabel VIII.2.1.1. Deze waarden worden gebruikt voor zowel de dag- als de nachtsituatie. De dag loopt van 8.00 u tot 18.00 u (42%) en de nacht van 18.00 u tot 8.00 u (58%).

Tabel VIII.2.1.1: Waarden voor meteorologische parameters

Parameter	Waarde
Luchttemperatuur	13°C
Bodemtemperatuur	13°C
Temperatuur oppervlaktewater	13°C
Luchtdruk	1,012 bar
Relatieve luchtvochtigheid	78%
Zonnestraling	270 W/m ² (enkel dag)

VIII.2.2. Locatie-specifieke meteorologische parameters

Verder wordt rekening gehouden met de locatie-specifieke kansen op voorkomen van 12 windrichtingen en 6 weertypes (combinaties van atmosferische stabiliteitsklasse en windsnelheid) die elk overdag of 's nachts kunnen voorkomen. Deze kansen of frequenties worden voor de beschouwde locaties weergegeven in tabellen VIII.2.2.1 t.e.m. VIII.2.2.5.

VIII.2.2.1. Jaargemiddelde frequenties van voorkomen van weertypes en windrichtingen voor gridpunt 39,18 (Antwerpen)

Tabel VIII.2.2.1: Jaargemiddelde frequenties van voorkomen van weertypes en windrichtingen voor gridpunt 39,18 (Antwerpen)

Windsector	Dagweertypes						Nachtweertypes						Totaal
	B30d	C30d	D50d	D70d	E30d	F20d	B30n	C30n	D50n	D70n	E30n	F20n	
[0,30[	0,61	0,76	0,33	0,17	0,07	0,03	0,03	0,23	0,72	0,20	1,75	0,89	5,79
[30,60[	1,04	1,21	0,64	0,30	0,16	0,06	0,00	0,21	1,16	0,23	2,11	0,79	7,91
[60,90[	0,74	1,23	0,75	0,37	0,22	0,05	0,00	0,13	1,06	0,32	2,29	0,71	7,87
[90,120[	0,60	0,75	0,36	0,08	0,11	0,04	0,00	0,08	0,47	0,07	1,34	0,57	4,47
[120,150[	0,64	0,66	0,37	0,05	0,09	0,05	0,00	0,11	0,48	0,06	1,06	0,47	4,04
[150,180[	0,54	0,71	0,58	0,23	0,13	0,04	0,00	0,08	0,61	0,18	1,06	0,36	4,52
[180,210[	0,72	1,38	1,44	1,74	0,18	0,04	0,00	0,15	1,96	1,69	1,61	0,42	11,33
[210,240[	0,98	2,02	2,00	3,16	0,21	0,05	0,00	0,14	3,11	3,45	2,23	0,46	17,81
[240,270[	0,92	1,58	1,44	2,13	0,16	0,04	0,00	0,14	2,35	2,39	2,25	0,53	13,93
[270,300[	0,84	1,37	0,79	1,47	0,10	0,03	0,03	0,26	1,14	0,93	1,35	0,49	8,80
[300,330[	1,17	1,59	0,52	0,79	0,06	0,03	0,06	0,51	0,86	0,40	1,06	0,42	7,47
[330,360[	0,57	0,83	0,35	0,29	0,07	0,03	0,02	0,35	0,82	0,22	1,75	0,75	6,05
Totaal	9,37	14,09	9,57	10,78	1,56	0,49	0,14	2,39	14,74	10,14	19,86	6,86	100,00

VIII.2.2.2. Jaargemiddelde frequenties van voorkomen van weertypes en windrichtingen voor gridpunt 28,11 (Gent)

Tabel VIII.2.2.2: Jaargemiddelde frequenties van voorkomen van weertypes en windrichtingen voor gridpunt 28,11 (Gent)

Windsector	Dagweertypes						Nachtweertypes						Totaal
	B30d	C30d	D50d	D70d	E30d	F20d	B30n	C30n	D50n	D70n	E30n	F20n	
[0,30[	0,81	0,93	0,30	0,12	0,07	0,03	0,02	0,34	0,77	0,09	1,71	0,72	5,93
[30,60[	1,07	1,25	0,63	0,19	0,19	0,08	0,01	0,20	0,90	0,10	2,22	0,96	7,81
[60,90[	1,21	1,33	0,63	0,15	0,23	0,09	0,03	0,16	0,71	0,10	2,31	1,08	8,03
[90,120[	0,70	0,69	0,21	0,00	0,10	0,07	0,00	0,13	0,27	0,01	1,13	0,88	4,21
[120,150[	0,55	0,52	0,19	0,02	0,06	0,07	0,00	0,10	0,21	0,03	0,74	0,60	3,10
[150,180[	0,63	0,84	0,51	0,20	0,12	0,07	0,01	0,11	0,56	0,15	1,10	0,59	4,91
[180,210[	0,83	1,73	1,57	1,53	0,22	0,08	0,00	0,17	2,01	1,45	1,96	0,64	12,18
[210,240[	1,20	2,54	2,26	2,37	0,29	0,08	0,00	0,21	3,37	2,45	3,23	0,84	18,85
[240,270[	1,22	2,27	1,65	1,70	0,22	0,06	0,02	0,32	2,54	1,71	3,19	0,88	15,78
[270,300[	0,81	1,51	0,81	0,53	0,13	0,03	0,02	0,25	0,91	0,37	1,53	0,64	7,55
[300,330[	0,82	1,22	0,47	0,23	0,08	0,03	0,03	0,29	0,61	0,13	1,15	0,63	5,70
[330,360[	0,80	1,12	0,33	0,18	0,09	0,02	0,04	0,44	0,64	0,07	1,42	0,77	5,94
totaal	10,67	15,95	9,57	7,22	1,81	0,71	0,18	2,73	13,53	6,66	21,70	9,27	100,00

VIII.2.2.3. Jaargemiddelde frequenties van voorkomen van weertypes en windrichtingen voor gridpunt 13,6 (Oostende)

Tabel VIII.2.2.3: Jaargemiddelde frequenties van voorkomen van weertypes en windrichtingen voor gridpunt 13,6 (Oostende)

Windsector	Dagweertypes						Nachtweertypes						Totaal
	B30d	C30d	D50d	D70d	E30d	F20d	B30n	C30n	D50n	D70n	E30n	F20n	
[0,30[	0,64	0,87	0,37	0,72	0,04	0,04	0,02	0,32	1,06	0,57	1,67	0,77	7,09
[30,60[	0,74	1,06	0,64	0,67	0,12	0,05	0,00	0,13	1,13	0,46	1,72	0,66	7,38
[60,90[	0,76	1,00	0,62	0,52	0,17	0,06	0,00	0,10	0,92	0,47	1,55	0,57	6,74
[90,120[	0,52	0,58	0,24	0,10	0,07	0,04	0,02	0,09	0,41	0,12	0,70	0,55	3,44
[120,150[	0,39	0,58	0,32	0,17	0,08	0,06	0,00	0,07	0,47	0,16	0,68	0,65	3,63
[150,180[	0,58	0,99	0,84	0,88	0,13	0,08	0,00	0,12	1,17	0,79	1,17	0,92	7,67
[180,210[	0,64	1,32	1,17	2,46	0,15	0,07	0,00	0,13	1,67	2,50	1,30	0,83	12,24
[210,240[	0,72	1,53	1,24	3,25	0,11	0,04	0,01	0,16	2,28	3,33	1,65	0,64	14,96
[240,270[	0,65	1,67	1,13	3,24	0,14	0,04	0,02	0,28	2,38	3,09	2,09	0,60	15,33
[270,300[	0,60	1,17	0,74	1,28	0,10	0,02	0,00	0,18	1,03	1,13	1,13	0,56	7,94
[300,330[	0,68	1,18	0,60	0,94	0,07	0,03	0,02	0,24	0,72	0,61	0,94	0,72	6,75
[330,360[	0,73	1,19	0,40	0,67	0,06	0,04	0,05	0,46	0,79	0,40	1,21	0,83	6,83
Totaal	7,65	13,14	8,31	14,90	1,24	0,57	0,14	2,28	14,03	13,63	15,81	8,30	100,00

VIII.2.2.4. Jaargemiddelde frequenties van voorkomen van weertypes en windrichtingen voor gridpunt 39,4 (Brussel)

Tabel VIII.2.2.4: Jaargemiddelde frequenties van voorkomen van weertypes en windrichtingen voor gridpunt 39,4 (Brussel)

Windsector	Dagweertypes						Nachtweertypes						Totaal
	B30d	C30d	D50d	D70d	E30d	F20d	B30n	C30n	D50n	D70n	E30n	F20n	
[0,30[	0,84	0,73	0,28	0,04	0,04	0,05	0,02	0,21	0,48	0,01	1,40	1,04	5,15
[30,60[	1,31	1,31	0,56	0,11	0,16	0,09	0,03	0,24	0,77	0,07	1,98	1,29	7,94
[60,90[	1,26	1,27	0,56	0,12	0,20	0,12	0,04	0,24	0,71	0,06	1,98	1,13	7,71
[90,120[	0,83	0,61	0,13	0,00	0,06	0,08	0,04	0,20	0,21	0,00	0,79	0,95	3,91
[120,150[	0,54	0,54	0,14	0,00	0,03	0,10	0,00	0,10	0,18	0,01	0,64	1,09	3,38
[150,180[	0,65	0,85	0,46	0,14	0,10	0,13	0,01	0,15	0,57	0,15	1,19	1,53	5,94
[180,210[	0,84	1,52	1,40	1,24	0,21	0,10	0,00	0,20	1,91	1,26	2,03	1,14	11,86
[210,240[	1,19	2,77	2,51	2,89	0,29	0,10	0,03	0,29	3,44	2,79	2,91	1,14	20,37
[240,270[	1,78	2,69	1,70	1,66	0,21	0,07	0,06	0,39	2,71	1,69	2,71	0,84	16,50
[270,300[	1,07	1,37	0,73	0,40	0,11	0,03	0,04	0,29	0,83	0,29	1,25	0,65	7,08
[300,330[	0,79	0,97	0,39	0,12	0,07	0,04	0,02	0,25	0,49	0,07	1,00	0,64	4,87
[330,360[	0,77	0,84	0,25	0,05	0,07	0,04	0,04	0,36	0,57	0,03	1,37	0,89	5,29
Totaal	11,91	15,49	9,11	6,78	1,56	0,95	0,33	2,93	12,89	6,43	19,25	12,37	100,00

VIII.2.2.5. Jaargemiddelde frequenties van voorkomen van weertypes en windrichtingen voor gridpunt 54,5 (Sint-Truiden)

Tabel VIII.2.2.5: Jaargemiddelde frequenties van voorkomen van weertypes en windrichtingen voor gridpunt 54,5 (Sint-Truiden)

Windsector	Dagweertypes						Nachtweertypes						Totaal
	B30d	C30d	D50d	D70d	E30d	F20d	B30n	C30n	D50n	D70n	E30n	F20n	
[0,30[	0,77	0,60	0,28	0,09	0,05	0,05	0,02	0,14	0,36	0,07	0,82	0,68	3,93
[30,60[	1,03	1,20	0,56	0,33	0,16	0,08	0,03	0,19	0,88	0,19	1,68	0,89	7,22
[60,90[	0,99	1,24	0,49	0,41	0,16	0,10	0,03	0,25	0,84	0,22	1,84	1,01	7,58
[90,120[	0,64	0,47	0,09	0,01	0,04	0,09	0,02	0,10	0,21	0,00	0,66	1,08	3,41
[120,150[	0,53	0,49	0,12	0,00	0,03	0,09	0,01	0,11	0,20	0,01	0,64	1,34	3,57
[150,180[	0,59	0,78	0,40	0,21	0,08	0,10	0,02	0,13	0,58	0,23	0,86	1,32	5,30
[180,210[	0,82	1,37	1,18	1,73	0,15	0,08	0,04	0,16	1,77	1,86	1,25	1,10	11,52
[210,240[	1,04	2,08	1,91	4,44	0,20	0,08	0,04	0,28	3,15	4,22	2,12	0,98	20,55
[240,270[	1,41	2,41	1,53	2,70	0,16	0,07	0,05	0,35	2,68	2,57	2,13	1,02	17,09
[270,300[	1,14	1,39	0,77	0,77	0,11	0,05	0,06	0,30	0,99	0,51	1,40	0,96	8,46
[300,330[	0,99	1,05	0,41	0,34	0,07	0,04	0,06	0,37	0,73	0,19	1,34	0,95	6,54
[330,360[	0,83	0,65	0,25	0,11	0,04	0,05	0,04	0,25	0,53	0,08	1,20	0,78	4,81
Totaal	10,79	13,74	7,99	11,15	1,25	0,88	0,42	2,63	12,93	10,16	15,95	12,12	100,00

VIII.3. Bijlage 3: Scenariotabel met maximale effectafstanden en ongevalfrequenties

Onderdeel	Vrijzettingsscenario	Vervolgscenario	Effect	Max. effectafstand [m]	Rel. Kans	Faalkans	Vervolgkans	Totale kans
TRANSPORTLEIDINGEN								
WATERSTOFTRANSPORTLEIDING (Ø = 100 MM) BOVENGRONDSE SECTIE 5 M	Breuk (7.1 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	24	5/0.100	2.2E-8	0.2	2,20E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	130	5/0.100	2.2E-8	0.0096	1,06E-08
		Wolkbrand	Verbranding	100	5/0.100	2.2E-8	0.0384	4,22E-08
	Groot lek (4.8 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	19	5/0.100	5E-8	0.2	5,00E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	116	5/0.100	5E-8	0.0096	2,40E-08
		Wolkbrand	Verbranding	85	5/0.100	5E-8	0.0384	9,60E-08
	Middelgroot lek (1.1 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	11	5/0.100	1.2E-7	0.2	1,20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	61	5/0.100	1.2E-7	0.0096	5,76E-08
		Wolkbrand	Verbranding	42	5/0.100	1.2E-7	0.0384	2,30E-07
	Klein lek (0.5 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	8	5/0.100	2.8E-7	0.2	2,80E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	39	5/0.100	2.8E-7	0.0096	1,34E-07
		Wolkbrand	Verbranding	26	5/0.100	2.8E-7	0.0384	5,38E-07
WATERSTOFTRANSPORTLEIDING (Ø = 150 MM) BOVENGRONDSE SECTIE 5 M	Breuk (16.8 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	35	5/0.150	2.2E-8	0.5	3,67E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	174	5/0.150	2.2E-8	0.03	2,20E-08
		Wolkbrand	Verbranding	119	5/0.150	2.2E-8	0.07	5,13E-08
	Groot lek (12.2 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	30	5/0.150	5E-8	0.5	8,33E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	160	5/0.150	5E-8	0.03	5,00E-08
		Wolkbrand	Verbranding	117	5/0.150	5E-8	0.07	1,17E-07
	Middelgroot lek (2.5 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	16	5/0.150	1.2E-7	0.2	8,00E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	92	5/0.150	1.2E-7	0.0096	3,84E-08
		Wolkbrand	Verbranding	65	5/0.150	1.2E-7	0.0384	1,54E-07
	Klein lek (1.1 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	11	5/0.150	2.8E-7	0.2	1,87E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	61	5/0.150	2.8E-7	0.0096	8,96E-08
		Wolkbrand	Verbranding	42	5/0.150	2.8E-7	0.0384	3,58E-07
WATERSTOFTRANSPORTLEIDING (Ø = 100 MM) ONDERGRONDSE SECTIE 5 M	Breuk (7.1 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	32	5/0.100	2.8E-8	0.2	2,80E-08
	Gat (5.1 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	26	5/0.100	6.9E-8	0.2	6,90E-08
	Barst (0.5 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	7	5/0.100	7.9E-8	0.2	7,90E-08
WATERSTOFTRANSPORTLEIDING (Ø = 150 MM) ONDERGRONDSE SECTIE 5 M	Breuk (16.8 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	45	5/0.150	2.8E-8	0.5	7,00E-08
	Gat (12.9 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	39	5/0.150	6.9E-8	0.5	1,73E-07
	Barst (0.5 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	7	5/0.150	7.9E-8	0.2	7,90E-08
ELEKTROLYSE-MODULES								
1X 20 FT ELEKTROLYSE-MODULE (MET DRUKONTLASTING)	Breuk	Gaswolkexplosie	Overdruk	9	1	3.5E-5	(1-0.2)*0.06	1,68E-06
	Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	6	1	1.1E-3*0.1	(1-0.2)*0.06	5,28E-06
1X 20 FT ELEKTROLYSE-MODULE (ZONDER DRUKONTLASTING)	Breuk	Gaswolkexplosie	Overdruk	36	1	3.5E-5	(1-0.2)*0.06	1,68E-06
	Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	23	1	1.1E-3*0.1	(1-0.2)*0.06	5,28E-06
1X 30 FT ELEKTROLYSE-MODULE (MET DRUKONTLASTING)	Breuk	Gaswolkexplosie	Overdruk	11	1	3.5E-5	(1-0.2)*0.06	1,68E-06
	Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	7	1	1.1E-3*0.1	(1-0.2)*0.06	5,28E-06
1X 30 FT ELEKTROLYSE-MODULE (ZONDER DRUKONTLASTING)	Breuk	Gaswolkexplosie	Overdruk	41	1	3.5E-5	(1-0.2)*0.06	1,68E-06
	Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	26	1	1.1E-3*0.1	(1-0.2)*0.06	5,28E-06
1X 40 FT ELEKTROLYSE-MODULE (MET DRUKONTLASTING)	Breuk	Gaswolkexplosie	Overdruk	12	1	3.5E-5	(1-0.2)*0.06	1,68E-06
	Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	7	1	1.1E-3*0.1	(1-0.2)*0.06	5,28E-06
1X 40 FT ELEKTROLYSE-MODULE (ZONDER DRUKONTLASTING)	Breuk	Gaswolkexplosie	Overdruk	45	1	3.5E-5	(1-0.2)*0.06	1,68E-06
	Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	28	1	1.1E-3*0.1	(1-0.2)*0.06	5,28E-06
2X 40 FT ELEKTROLYSE-MODULE (MET DRUKONTLASTING)	Breuk	Gaswolkexplosie	Overdruk	14	1	3.5E-5	(1-0.2)*0.06	1,68E-06
	Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	9	1	1.1E-3*0.1	(1-0.2)*0.06	5,28E-06
2X 40 FT ELEKTROLYSE-MODULE (ZONDER DRUKONTLASTING)	Breuk	Gaswolkexplosie	Overdruk	56	1	3.5E-5	(1-0.2)*0.06	1,68E-06
	Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	36	1	1.1E-3*0.1	(1-0.2)*0.06	5,28E-06
STOOMREFORMER-MODULES								
1X 20 FT STOOMREFORMER-MODULE (MET DRUKONTLASTING)	Breuk	Gaswolkexplosie	Overdruk	11	1	6.2E-5	(1-0.2)*0.06	2,98E-06
	Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	7	1	2.1E-2*0.1	(1-0.2)*0.06	1,01E-04
1X 20 FT STOOMREFORMER-MODULE (ZONDER DRUKONTLASTING)	Breuk	Gaswolkexplosie	Overdruk	43	1	6.2E-5	(1-0.2)*0.06	2,98E-06
	Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	27	1	2.1E-2*0.1	(1-0.2)*0.06	1,01E-04
1X 40 FT STOOMREFORMER-MODULE (MET DRUKONTLASTING)	Breuk	Gaswolkexplosie	Overdruk	14	1	6.2E-5	(1-0.2)*0.06	2,98E-06
	Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	9	1	2.1E-2*0.1	(1-0.2)*0.06	1,01E-04
1X 40 FT STOOMREFORMER-MODULE (ZONDER DRUKONTLASTING)	Breuk	Gaswolkexplosie	Overdruk	54	1	6.2E-5	(1-0.2)*0.06	2,98E-06
	Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	34	1	2.1E-2*0.1	(1-0.2)*0.06	1,01E-04
TUBE-TRAILERS EN BATTERIJVOERTUIGEN (200 BAR)								
TRAILER 9x 2330 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (35.3 kg)	Fysische explosie	Overdruk	58	9	1.1E-6	1	9,90E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	77	9	1.1E-6	0.0096	9,50E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	14	9	1.1E-6	0.2	1,98E-06
	Lek (0.63 kg/s)	Wolkbrand	Verbranding	29	9	1.1E-6	0.0384	3,80E-07
		Fakkelbrand	Warmtestraling	8	9	1.1E-5	0.2	1,98E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	9	1.1E-5	0.0096	9,50E-07
TRAILER 11x 1950 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (35.3 kg)	Fysische explosie	Overdruk	54	11	1.1E-6	1	1,21E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	78	11	1.1E-6	0.0096	1,16E-07
		Vuurbal	Warmtestraling	13	11	1.1E-6	0.2	2,42E-06
	Lek (0.63 kg/s)	Wolkbrand	Verbranding	30	11	1.1E-6	0.0384	4,65E-07
		Fakkelbrand	Warmtestraling	8	11	1.1E-5	0.2	2,42E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	11	1.1E-5	0.0096	1,16E-06
TRAILER 14x 1370 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (35.3 kg)	Fysische explosie	Overdruk	48	14	1.1E-6	1	1,54E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	73	14	1.1E-6	0.0096	1,48E-07
		Vuurbal	Warmtestraling	11	14	1.1E-6	0.2	3,08E-06
	Lek (0.63 kg/s)	Wolkbrand	Verbranding	32	14	1.1E-6	0.0384	5,91E-07
		Fakkelbrand	Warmtestraling	8	14	1.1E-5	0.2	3,08E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	14	1.1E-5	0.0096	1,48E-06
TRAILER 16x 1310 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (35.3 kg)	Fysische explosie	Overdruk	48	16	1.1E-6	1	1,76E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	69	16	1.1E-6	0.0096	1,69E-07
		Vuurbal	Warmtestraling	11	16	1.1E-6	0.2	3,52E-06
	Lek (0.63 kg/s)	Wolkbrand	Verbranding	33	16	1.1E-6	0.0384	6,76E-07
		Fakkelbrand	Warmtestraling	8	16	1.1E-5	0.2	3,52E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	16	1.1E-5	0.0096	1,69E-06
TRAILER 18x 1220 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (17.4 kg)	Fysische explosie	Overdruk	46	18	1.1E-6	1	1,98E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	69	18	1.1E-6	0.0096	1,90E-07
		Vuurbal	Warmtestraling	10	18	1.1E-6	0.2	3,96E-06
	Lek (0.63 kg/s)	Wolkbrand	Verbranding	33	18	1.1E-6	0.0384	7,60E-07
		Fakkelbrand	Warmtestraling	8	18	1.1E-5	0.2	3,96E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	18	1.1E-5	0.0096	1,90E-06
Wolkbrand	Verbranding	30	18	1.1E-5	0.0384	7,60E-06		

Onderdeel	Vrijzettingsscenario	Vervolgscenario	Effect	Max. effectafstand [m]	Rel. Kans	Faalkans	Vervolgkans	Totale kans	
TRAILER 105x 350 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (10.9 kg)	Fysische explosie	Overdruk	30	105	1.1E-6	1	1,16E-04	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	47	105	1.1E-6	0.0096	1,11E-06	
		Vuurbal	Warmtestraling	5	105	1.1E-6	0.2	2,31E-05	
		Wolkbrand	Verbranding	30	105	1.1E-6	0.0384	4,44E-06	
	Lek (0.59 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	5	105	1.1E-5	0.2	2,31E-04	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	26	105	1.1E-5	0.0096	1,11E-05	
		Wolkbrand	Verbranding	18	105	1.1E-5	0.0384	4,44E-05	
		Fakkelbrand	Warmtestraling	5	105	1.1E-5	0.2	2,31E-04	
TRAILER 155x 315 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (10.9 kg)	Fysische explosie	Overdruk	30	155	1.1E-6	1	1,71E-04	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	46	155	1.1E-6	0.0096	1,64E-06	
		Vuurbal	Warmtestraling	5	155	1.1E-6	0.2	3,41E-05	
		Wolkbrand	Verbranding	29	155	1.1E-6	0.0384	6,55E-06	
	Lek (0.59 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	5	155	1.1E-5	0.2	3,41E-04	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	26	155	1.1E-5	0.0096	1,64E-05	
		Wolkbrand	Verbranding	18	155	1.1E-5	0.0384	6,55E-05	
		Fakkelbrand	Warmtestraling	5	155	1.1E-5	0.2	3,41E-04	
TRAILER 224x 165 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (2.5 kg)	Fysische explosie	Overdruk	24	224	1.1E-6	1	2,46E-04	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	35	224	1.1E-6	0.0096	2,37E-06	
		Vuurbal	Warmtestraling	4	224	1.1E-6	0.2	4,93E-05	
		Wolkbrand	Verbranding	24	224	1.1E-6	0.0384	9,46E-06	
	Lek (0.25 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	4	224	1.1E-5	0.2	4,93E-04	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	26	224	1.1E-5	0.0096	2,37E-05	
		Wolkbrand	Verbranding	18	224	1.1E-5	0.0384	9,46E-05	
		Fakkelbrand	Warmtestraling	4	224	1.1E-5	0.2	4,93E-04	
TRAILER 295x 85 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (1.3 kg)	Fysische explosie	Overdruk	19	295	1.1E-6	1	3,25E-04	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	30	295	1.1E-6	0.0096	3,12E-06	
		Vuurbal	Warmtestraling	3	295	1.1E-6	0.2	6,49E-05	
	Wolkbrand	Verbranding	17	295	1.1E-6	0.0384	1,25E-05		
		Fysische explosie	Overdruk	16	350	1.1E-6	1	3,85E-04	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	25	350	1.1E-6	0.0096	3,70E-06	
TRAILER 350x 50 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (1.3 kg)	Vuurbal	Warmtestraling	2	350	1.1E-6	0.2	7,70E-05	
		Wolkbrand	Verbranding	14	350	1.1E-6	0.0384	1,48E-05	
		Fysische explosie	Overdruk	40	105	1.1E-6	1	1,16E-04	
BATTERIJOVERTUIGEN (500 BAR)									
TRAILER 105x 350 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (10.9 kg)	Fysische explosie	Overdruk	40	105	1.1E-6	1	1,16E-04	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	58	105	1.1E-6	0.0096	1,11E-06	
		Vuurbal	Warmtestraling	8	105	1.1E-6	0.2	2,31E-05	
		Wolkbrand	Verbranding	41	105	1.1E-6	0.0384	4,44E-06	
	Lek (0.59 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	8	105	1.1E-5	0.2	2,31E-04	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	105	1.1E-5	0.0096	1,11E-05	
		Wolkbrand	Verbranding	29	105	1.1E-5	0.0384	4,44E-05	
		Fakkelbrand	Warmtestraling	8	105	1.1E-5	0.2	2,31E-04	
TRAILER 155x 315 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (10.9 kg)	Fysische explosie	Overdruk	38	155	1.1E-6	1	1,71E-04	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	58	155	1.1E-6	0.0096	1,64E-06	
		Vuurbal	Warmtestraling	8	155	1.1E-6	0.2	3,41E-05	
		Wolkbrand	Verbranding	40	155	1.1E-6	0.0384	6,55E-06	
	Lek (0.59 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	8	155	1.1E-5	0.2	3,41E-04	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	155	1.1E-5	0.0096	1,64E-05	
		Wolkbrand	Verbranding	29	155	1.1E-5	0.0384	6,55E-05	
		Fakkelbrand	Warmtestraling	8	155	1.1E-5	0.2	3,41E-04	
TRAILER 224x 165 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (5.1 kg)	Fysische explosie	Overdruk	30	224	1.1E-6	1	2,46E-04	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	47	224	1.1E-6	0.0096	2,37E-06	
		Vuurbal	Warmtestraling	5	224	1.1E-6	0.2	4,93E-05	
		Wolkbrand	Verbranding	30	224	1.1E-6	0.0384	9,46E-06	
	Lek (0.59 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	5	224	1.1E-5	0.2	4,93E-04	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	224	1.1E-5	0.0096	2,37E-05	
		Wolkbrand	Verbranding	29	224	1.1E-5	0.0384	9,46E-05	
		Fakkelbrand	Warmtestraling	5	224	1.1E-5	0.2	4,93E-04	
STANDAARD LOSLANGEN PERMANENT IN GEBRUIK (MET TERUGSLAGKLEP, ZONDER DOORSTROOMBEGRENZER)									
STANDAARD SLAG 6 MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK Faalt (0.27 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	8760	2.4E-7	0.2	5,68E-05	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	29	8760	2.4E-7	0.0096	2,72E-06	
		Wolkbrand	Verbranding	19	8760	2.4E-7	0.0384	1,09E-05	
	Breuk TSK Werkt (0.27 kg/s (1.0 s) / 0.14 kg/s (1799.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	4	8760	3.76E-6	0.2	6,59E-03	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	11	8760	3.76E-6	0.0096	3,16E-04	
		Wolkbrand	Verbranding	12	8760	3.76E-6	0.0384	1,26E-03	
	Lek (3.5 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	1	8760	4.E-5	0.2	9,46E-03	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	0	8760	4.E-5	0.0096	4,54E-04	
		Wolkbrand	Verbranding	0	8760	4.E-5	0.0384	1,82E-03	
	STANDAARD SLAG 6 MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK Faalt (0.65 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	45	8760	2.4E-7	0.2	5,68E-05
			Gaswolkexplosie	Overdruk	55	8760	2.4E-7	0.0096	2,72E-06
			Wolkbrand	Verbranding	30	8760	2.4E-7	0.0384	1,09E-05
Breuk TSK Werkt (0.65 kg/s (1.0 s) / 0.33 kg/s (1799.0 s))		Fakkelbrand	Warmtestraling	6	8760	3.76E-6	0.2	6,59E-03	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	32	8760	3.76E-6	0.0096	3,16E-04	
		Wolkbrand	Verbranding	21	8760	3.76E-6	0.0384	1,26E-03	
Lek (8.5 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.E-5	0.2	9,46E-03		
	Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	4.E-5	0.0096	4,54E-04		
	Wolkbrand	Verbranding	2	8760	4.E-5	0.0384	1,82E-03		
STANDAARD SLAG 8 MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK Faalt (0.57 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	8	8760	2.4E-7	0.2	5,68E-05	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	8760	2.4E-7	0.0096	2,72E-06	
		Wolkbrand	Verbranding	28	8760	2.4E-7	0.0384	1,09E-05	
	Breuk TSK Werkt (0.57 kg/s (1.0 s) / 0.29 kg/s (1053.6 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	8760	3.76E-6	0.2	6,59E-03	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	29	8760	3.76E-6	0.0096	3,16E-04	
		Wolkbrand	Verbranding	20	8760	3.76E-6	0.0384	1,26E-03	
	Lek (6.3 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.E-5	0.2	9,46E-03	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	4.E-5	0.0096	4,54E-04	
		Wolkbrand	Verbranding	2	8760	4.E-5	0.0384	1,82E-03	
STANDAARD SLAG 8 MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK Faalt (1.4 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	11	8760	2.4E-7	0.2	5,68E-05	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	67	8760	2.4E-7	0.0096	2,72E-06	
		Wolkbrand	Verbranding	48	8760	2.4E-7	0.0384	1,09E-05	
	Breuk TSK Werkt (1.4 kg/s (1.0 s) / 0.69 kg/s (901.1 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	8	8760	3.76E-6	0.2	6,59E-03	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	46	8760	3.76E-6	0.0096	3,16E-04	
		Wolkbrand	Verbranding	31	8760	3.76E-6	0.0384	1,26E-03	
	Lek (15.1 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.E-5	0.2	9,46E-03	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	4.E-5	0.0096	4,54E-04	
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	4.E-5	0.0384	1,82E-03	
STANDAARD SLAG 10 MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK Faalt (1.00 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	8760	2.4E-7	0.2	5,68E-05	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	56	8760	2.4E-7	0.0096	2,72E-06	
		Wolkbrand	Verbranding	37	8760	2.4E-7	0.0384	1,09E-05	
	Breuk TSK Werkt (1.00 kg/s (1.0 s) / 0.50 kg/s (607.7 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	7	8760	3.76E-6	0.2	6,59E-03	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	39	8760	3.76E-6	0.0096	3,16E-04	
		Wolkbrand	Verbranding	26	8760	3.76E-6	0.0384	1,26E-03	
	Lek (9.8 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.E-5	0.2	9,46E-03	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	4.E-5	0.0096	4,54E-04	
		Wolkbrand	Verbranding	2	8760	4.E-5	0.0384	1,82E-03	

Onderdeel	Vrijzettingsscenario	Vervolgscenario	Effect	Max. effectafstand [m]	Rel. Kans	Faalkans	Vervolgkans	Totale kans
STANDAARD SLAG 10 MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK Faalt (2.4 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	13	8760	2.4E-7	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	89	8760	2.4E-7	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	64	8760	2.4E-7	0.0384	1,09E-05
	Breuk TSK Werkt (2.4 kg/s (1.0 s) / 1.2 kg/s (509.1 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	10	8760	3.76E-6	0.2	6,59E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	62	8760	3.76E-6	0.0096	3,16E-04
		Wolkbrand	Verbranding	41	8760	3.76E-6	0.0384	1,26E-03
	Lek (23.5 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	3	8760	4.E-5	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	8760	4.E-5	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	4.E-5	0.0384	1,82E-03
STANDAARD SLAG 12 MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK Faalt (1.6 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	13	8760	2.4E-7	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	70	8760	2.4E-7	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	52	8760	2.4E-7	0.0384	1,09E-05
	Breuk TSK Werkt (1.6 kg/s (1.0 s) / 0.79 kg/s (384.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	8760	3.76E-6	0.2	6,59E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	50	8760	3.76E-6	0.0096	3,16E-04
		Wolkbrand	Verbranding	33	8760	3.76E-6	0.0384	1,26E-03
	Lek (14.1 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.E-5	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	4.E-5	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	4.E-5	0.0384	1,82E-03
STANDAARD SLAG 12 MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK Faalt (3.8 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	17	8760	2.4E-7	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	106	8760	2.4E-7	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	74	8760	2.4E-7	0.0384	1,09E-05
	Breuk TSK Werkt (3.8 kg/s (1.0 s) / 1.9 kg/s (322.2 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	13	8760	3.76E-6	0.2	6,59E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	81	8760	3.76E-6	0.0096	3,16E-04
		Wolkbrand	Verbranding	57	8760	3.76E-6	0.0384	1,26E-03
	Lek (33.9 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	3	8760	4.E-5	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	8760	4.E-5	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	4	8760	4.E-5	0.0384	1,82E-03
LPG-LOSLANGEN PERMANENT IN GEBRUIK (MET TERUGSLAGKLEP, ZONDER DOORSTROOMBEGRENZER)								
LPG-SLANG 6 MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK Faalt (0.27 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	8760	3.24E-8	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	29	8760	3.24E-8	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	19	8760	3.24E-8	0.0384	1,09E-05
	Breuk TSK Werkt (0.27 kg/s (1.0 s) / 0.14 kg/s (1799.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	4	8760	5.08E-7	0.2	8,90E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	11	8760	5.08E-7	0.0096	4,27E-05
		Wolkbrand	Verbranding	12	8760	5.08E-7	0.0384	1,71E-04
	Lek (3.5 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	1	8760	5.4E-6	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	0	8760	5.4E-6	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	0	8760	5.4E-6	0.0384	1,82E-03
LPG-SLANG 6 MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK Faalt (0.65 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	45	8760	3.24E-8	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	55	8760	3.24E-8	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	30	8760	3.24E-8	0.0384	1,09E-05
	Breuk TSK Werkt (0.65 kg/s (1.0 s) / 0.33 kg/s (1799.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	8760	5.08E-7	0.2	8,90E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	32	8760	5.08E-7	0.0096	4,27E-05
		Wolkbrand	Verbranding	21	8760	5.08E-7	0.0384	1,71E-04
	Lek (8.5 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-6	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	5.4E-6	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	2	8760	5.4E-6	0.0384	1,82E-03
LPG-SLANG 8 MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK Faalt (0.57 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	8	8760	3.24E-8	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	8760	3.24E-8	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	28	8760	3.24E-8	0.0384	1,09E-05
	Breuk TSK Werkt (0.57 kg/s (1.0 s) / 0.29 kg/s (1053.6 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	8760	5.08E-7	0.2	8,90E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	29	8760	5.08E-7	0.0096	4,27E-05
		Wolkbrand	Verbranding	20	8760	5.08E-7	0.0384	1,71E-04
	Lek (6.3 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-6	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	5.4E-6	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	2	8760	5.4E-6	0.0384	1,82E-03
LPG-SLANG 8 MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK Faalt (1.4 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	11	8760	3.24E-8	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	67	8760	3.24E-8	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	48	8760	3.24E-8	0.0384	1,09E-05
	Breuk TSK Werkt (1.4 kg/s (1.0 s) / 0.69 kg/s (901.1 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	8	8760	5.08E-7	0.2	8,90E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	46	8760	5.08E-7	0.0096	4,27E-05
		Wolkbrand	Verbranding	31	8760	5.08E-7	0.0384	1,71E-04
	Lek (15.1 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-6	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	5.4E-6	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	5.4E-6	0.0384	1,82E-03
LPG-SLANG 10 MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK Faalt (1.00 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	8760	3.24E-8	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	56	8760	3.24E-8	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	37	8760	3.24E-8	0.0384	1,09E-05
	Breuk TSK Werkt (1.00 kg/s (1.0 s) / 0.50 kg/s (607.7 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	7	8760	5.08E-7	0.2	8,90E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	39	8760	5.08E-7	0.0096	4,27E-05
		Wolkbrand	Verbranding	26	8760	5.08E-7	0.0384	1,71E-04
	Lek (9.8 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-6	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	5.4E-6	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	2	8760	5.4E-6	0.0384	1,82E-03
LPG-SLANG 10 MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK Faalt (2.4 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	13	8760	3.24E-8	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	89	8760	3.24E-8	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	64	8760	3.24E-8	0.0384	1,09E-05
	Breuk TSK Werkt (2.4 kg/s (1.0 s) / 1.2 kg/s (509.1 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	10	8760	5.08E-7	0.2	8,90E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	62	8760	5.08E-7	0.0096	4,27E-05
		Wolkbrand	Verbranding	41	8760	5.08E-7	0.0384	1,71E-04
	Lek (23.5 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	3	8760	5.4E-6	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	8760	5.4E-6	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	5.4E-6	0.0384	1,82E-03
LPG-SLANG 12 MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK Faalt (1.6 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	13	8760	3.24E-8	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	70	8760	3.24E-8	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	52	8760	3.24E-8	0.0384	1,09E-05
	Breuk TSK Werkt (1.6 kg/s (1.0 s) / 0.79 kg/s (384.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	8760	5.08E-7	0.2	8,90E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	50	8760	5.08E-7	0.0096	4,27E-05
		Wolkbrand	Verbranding	33	8760	5.08E-7	0.0384	1,71E-04
	Lek (14.1 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-6	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	5.4E-6	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	5.4E-6	0.0384	1,82E-03

Onderdeel	Vrijzettingsscenario	Vervolgscenario	Effect	Max. effectafstand [m]	Rel. Kans	Faalkans	Vervolgkans	Totale kans
LPG-SLANG 12 MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK Faalt (3.8 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	17	8760	3.24E-8	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	106	8760	3.24E-8	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	74	8760	3.24E-8	0.0384	1,09E-05
	Breuk TSK Werkt (3.8 kg/s (1.0 s) / 1.9 kg/s (322.2 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	13	8760	5.08E-7	0.2	8,90E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	81	8760	5.08E-7	0.0096	4,27E-05
		Wolkbrand	Verbranding	57	8760	5.08E-7	0.0384	1,71E-04
	Lek (33.9 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	3	8760	5.4E-6	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	8760	5.4E-6	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	4	8760	5.4E-6	0.0384	1,82E-03
STANDAARD LOSLANGEN PERMANENT IN GEBRUIK (MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER)								
STANDAARD SLAG 6 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (0.27 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	8760	1.44E-8	0.2	2,52E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	29	8760	1.44E-8	0.0096	1,21E-06
		Wolkbrand	Verbranding	19	8760	1.44E-8	0.0384	4,84E-06
	Breuk TSK of DB Faalt (0.27 kg/s (1.0 s) / 0.14 kg/s (1799.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	4	8760	4.51E-7	0.2	7,90E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	23	8760	4.51E-7	0.0096	3,79E-05
		Wolkbrand	Verbranding	12	8760	4.51E-7	0.0384	1,52E-04
	Breuk TSK en DB Werken (0.27 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	3.53E-6	0.2	6,18E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	11	8760	3.53E-6	0.0096	2,97E-04
		Wolkbrand	Verbranding	11	8760	3.53E-6	0.0384	1,19E-03
	Lek (3.5 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	1	8760	4.E-5	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	0	8760	4.E-5	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	0	8760	4.E-5	0.0384	1,82E-03
STANDAARD SLAG 6 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (0.65 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	8	8760	1.44E-8	0.2	2,52E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	8760	1.44E-8	0.0096	1,21E-06
		Wolkbrand	Verbranding	30	8760	1.44E-8	0.0384	4,84E-06
	Breuk TSK of DB Faalt (0.65 kg/s (1.0 s) / 0.33 kg/s (1799.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	8760	4.51E-7	0.2	7,90E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	32	8760	4.51E-7	0.0096	3,79E-05
		Wolkbrand	Verbranding	21	8760	4.51E-7	0.0384	1,52E-04
	Breuk TSK en DB Werken (0.65 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	3.53E-6	0.2	6,18E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	32	8760	3.53E-6	0.0096	2,97E-04
		Wolkbrand	Verbranding	14	8760	3.53E-6	0.0384	1,19E-03
	Lek (8.5 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.E-5	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	4.E-5	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	2	8760	4.E-5	0.0384	1,82E-03
STANDAARD SLAG 8 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (0.57 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	8	8760	1.44E-8	0.2	2,52E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	8760	1.44E-8	0.0096	1,21E-06
		Wolkbrand	Verbranding	28	8760	1.44E-8	0.0384	4,84E-06
	Breuk TSK of DB Faalt (0.57 kg/s (1.0 s) / 0.29 kg/s (1053.6 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	8760	4.51E-7	0.2	7,90E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	29	8760	4.51E-7	0.0096	3,79E-05
		Wolkbrand	Verbranding	20	8760	4.51E-7	0.0384	1,52E-04
	Breuk TSK en DB Werken (0.57 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	3.53E-6	0.2	6,18E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	29	8760	3.53E-6	0.0096	2,97E-04
		Wolkbrand	Verbranding	13	8760	3.53E-6	0.0384	1,19E-03
	Lek (6.3 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	1	8760	4.E-5	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	4.E-5	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	2	8760	4.E-5	0.0384	1,82E-03
STANDAARD SLAG 8 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (1.4 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	11	8760	1.44E-8	0.2	2,52E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	67	8760	1.44E-8	0.0096	1,21E-06
		Wolkbrand	Verbranding	48	8760	1.44E-8	0.0384	4,84E-06
	Breuk TSK of DB Faalt (1.4 kg/s (1.0 s) / 0.69 kg/s (901.1 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	8	8760	4.51E-7	0.2	7,90E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	46	8760	4.51E-7	0.0096	3,79E-05
		Wolkbrand	Verbranding	31	8760	4.51E-7	0.0384	1,52E-04
	Breuk TSK en DB Werken (1.4 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	3.53E-6	0.2	6,18E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	40	8760	3.53E-6	0.0096	2,97E-04
		Wolkbrand	Verbranding	16	8760	3.53E-6	0.0384	1,19E-03
	Lek (15.1 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.E-5	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	4.E-5	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	4.E-5	0.0384	1,82E-03
STANDAARD SLAG 10 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (1.00 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	8760	1.44E-8	0.2	2,52E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	56	8760	1.44E-8	0.0096	1,21E-06
		Wolkbrand	Verbranding	37	8760	1.44E-8	0.0384	4,84E-06
	Breuk TSK of DB Faalt (1.00 kg/s (1.0 s) / 0.50 kg/s (607.7 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	7	8760	4.51E-7	0.2	7,90E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	39	8760	4.51E-7	0.0096	3,79E-05
		Wolkbrand	Verbranding	26	8760	4.51E-7	0.0384	1,52E-04
	Breuk TSK en DB Werken (1.00 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	3.53E-6	0.2	6,18E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	35	8760	3.53E-6	0.0096	2,97E-04
		Wolkbrand	Verbranding	15	8760	3.53E-6	0.0384	1,19E-03
	Lek (9.8 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.E-5	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	4.E-5	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	2	8760	4.E-5	0.0384	1,82E-03
STANDAARD SLAG 10 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (2.4 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	13	8760	1.44E-8	0.2	2,52E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	89	8760	1.44E-8	0.0096	1,21E-06
		Wolkbrand	Verbranding	64	8760	1.44E-8	0.0384	4,84E-06
	Breuk TSK of DB Faalt (2.4 kg/s (1.0 s) / 1.2 kg/s (509.1 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	10	8760	4.51E-7	0.2	7,90E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	62	8760	4.51E-7	0.0096	3,79E-05
		Wolkbrand	Verbranding	41	8760	4.51E-7	0.0384	1,52E-04
	Breuk TSK en DB Werken (2.4 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	3.53E-6	0.2	6,18E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	49	8760	3.53E-6	0.0096	2,97E-04
		Wolkbrand	Verbranding	18	8760	3.53E-6	0.0384	1,19E-03
	Lek (23.5 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.E-5	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	8760	4.E-5	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	4.E-5	0.0384	1,82E-03
STANDAARD SLAG 12 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (1.6 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	13	8760	1.44E-8	0.2	2,52E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	72	8760	1.44E-8	0.0096	1,21E-06
		Wolkbrand	Verbranding	52	8760	1.44E-8	0.0384	4,84E-06
	Breuk TSK of DB Faalt (1.6 kg/s (1.0 s) / 0.79 kg/s (384.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	8760	4.51E-7	0.2	7,90E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	50	8760	4.51E-7	0.0096	3,79E-05
		Wolkbrand	Verbranding	33	8760	4.51E-7	0.0384	1,52E-04
	Breuk TSK en DB Werken (1.6 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	3.53E-6	0.2	6,18E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	43	8760	3.53E-6	0.0096	2,97E-04
		Wolkbrand	Verbranding	16	8760	3.53E-6	0.0384	1,19E-03
	Lek (14.1 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.E-5	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	4.E-5	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	4.E-5	0.0384	1,82E-03

Onderdeel	Vrijzettingsscenario	Vervolgscenario	Effect	Max. effectafstand [m]	Rel. Kans	Faalkans	Vervolgkans	Totale kans
STANDAARD SLANG 12 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (3.8 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	17	8760	1.44E-8	0.2	2,52E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	106	8760	1.44E-8	0.0096	1,21E-06
		Wolkbrand	Verbranding	74	8760	1.44E-8	0.0384	4,84E-06
	Breuk TSK of DB Faalt (3.8 kg/s (1.0 s) / 1.9 kg/s (322.2 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	13	8760	4.51E-7	0.2	7,90E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	81	8760	4.51E-7	0.0096	3,79E-05
		Wolkbrand	Verbranding	57	8760	4.51E-7	0.0384	1,52E-04
	Breuk TSK en DB Werken (3.8 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	3.53E-6	0.2	6,18E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	57	8760	3.53E-6	0.0096	2,97E-04
		Wolkbrand	Verbranding	20	8760	3.53E-6	0.0384	1,19E-03
	Lek (33.9 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	3	8760	4.E-5	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	8760	4.E-5	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	4	8760	4.E-5	0.0384	1,82E-03
LPG-LOSLANGEN PERMANENT IN GEBRUIK (MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER)								
LPG-SLANG 6 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (0.27 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	8760	1.94E-9	0.2	3,41E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	29	8760	1.94E-9	0.0096	1,63E-07
		Wolkbrand	Verbranding	19	8760	1.94E-9	0.0384	6,54E-07
	Breuk TSK of DB Faalt (0.27 kg/s (1.0 s) / 0.14 kg/s (1799.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	4	8760	6.09E-8	0.2	1,07E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	23	8760	6.09E-8	0.0096	5,12E-06
		Wolkbrand	Verbranding	12	8760	6.09E-8	0.0384	2,05E-05
	Breuk TSK en DB Werken (0.27 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.77E-7	0.2	8,35E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	11	8760	4.77E-7	0.0096	4,01E-05
		Wolkbrand	Verbranding	11	8760	4.77E-7	0.0384	1,60E-04
	Lek (3.5 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	1	8760	5.4E-6	0.2	1,28E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	0	8760	5.4E-6	0.0096	6,13E-05
		Wolkbrand	Verbranding	0	8760	5.4E-6	0.0384	2,45E-04
LPG-SLANG 6 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (0.65 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	8	8760	1.94E-9	0.2	3,41E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	8760	1.94E-9	0.0096	1,63E-07
		Wolkbrand	Verbranding	30	8760	1.94E-9	0.0384	6,54E-07
	Breuk TSK of DB Faalt (0.65 kg/s (1.0 s) / 0.33 kg/s (1799.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	8760	6.09E-8	0.2	1,07E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	32	8760	6.09E-8	0.0096	5,12E-06
		Wolkbrand	Verbranding	21	8760	6.09E-8	0.0384	2,05E-05
	Breuk TSK en DB Werken (0.65 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.77E-7	0.2	8,35E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	32	8760	4.77E-7	0.0096	4,01E-05
		Wolkbrand	Verbranding	14	8760	4.77E-7	0.0384	1,60E-04
	Lek (8.5 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-6	0.2	1,28E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	5.4E-6	0.0096	6,13E-05
		Wolkbrand	Verbranding	2	8760	5.4E-6	0.0384	2,45E-04
LPG-SLANG 8 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (0.57 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	8	8760	1.94E-9	0.2	3,41E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	8760	1.94E-9	0.0096	1,63E-07
		Wolkbrand	Verbranding	28	8760	1.94E-9	0.0384	6,54E-07
	Breuk TSK of DB Faalt (0.57 kg/s (1.0 s) / 0.29 kg/s (1053.6 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	8760	6.09E-8	0.2	1,07E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	29	8760	6.09E-8	0.0096	5,12E-06
		Wolkbrand	Verbranding	20	8760	6.09E-8	0.0384	2,05E-05
	Breuk TSK en DB Werken (0.57 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.77E-7	0.2	8,35E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	29	8760	4.77E-7	0.0096	4,01E-05
		Wolkbrand	Verbranding	13	8760	4.77E-7	0.0384	1,60E-04
	Lek (6.3 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	1	8760	5.4E-6	0.2	1,28E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	5.4E-6	0.0096	6,13E-05
		Wolkbrand	Verbranding	2	8760	5.4E-6	0.0384	2,45E-04
LPG-SLANG 8 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (1.4 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	11	8760	1.94E-9	0.2	3,41E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	67	8760	1.94E-9	0.0096	1,63E-07
		Wolkbrand	Verbranding	48	8760	1.94E-9	0.0384	6,54E-07
	Breuk TSK of DB Faalt (1.4 kg/s (1.0 s) / 0.69 kg/s (901.1 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	8	8760	6.09E-8	0.2	1,07E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	46	8760	6.09E-8	0.0096	5,12E-06
		Wolkbrand	Verbranding	31	8760	6.09E-8	0.0384	2,05E-05
	Breuk TSK en DB Werken (1.4 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.77E-7	0.2	8,35E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	40	8760	4.77E-7	0.0096	4,01E-05
		Wolkbrand	Verbranding	16	8760	4.77E-7	0.0384	1,60E-04
	Lek (15.1 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-6	0.2	1,28E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	5.4E-6	0.0096	6,13E-05
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	5.4E-6	0.0384	2,45E-04
LPG-SLANG 10 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (1.00 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	8760	1.94E-9	0.2	3,41E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	56	8760	1.94E-9	0.0096	1,63E-07
		Wolkbrand	Verbranding	37	8760	1.94E-9	0.0384	6,54E-07
	Breuk TSK of DB Faalt (1.00 kg/s (1.0 s) / 0.50 kg/s (607.7 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	7	8760	6.09E-8	0.2	1,07E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	39	8760	6.09E-8	0.0096	5,12E-06
		Wolkbrand	Verbranding	26	8760	6.09E-8	0.0384	2,05E-05
	Breuk TSK en DB Werken (1.00 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.77E-7	0.2	8,35E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	35	8760	4.77E-7	0.0096	4,01E-05
		Wolkbrand	Verbranding	15	8760	4.77E-7	0.0384	1,60E-04
	Lek (9.8 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-6	0.2	1,28E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	5.4E-6	0.0096	6,13E-05
		Wolkbrand	Verbranding	2	8760	5.4E-6	0.0384	2,45E-04
LPG-SLANG 10 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (2.4 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	13	8760	1.94E-9	0.2	3,41E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	89	8760	1.94E-9	0.0096	1,63E-07
		Wolkbrand	Verbranding	64	8760	1.94E-9	0.0384	6,54E-07
	Breuk TSK of DB Faalt (2.4 kg/s (1.0 s) / 1.2 kg/s (509.1 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	10	8760	6.09E-8	0.2	1,07E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	62	8760	6.09E-8	0.0096	5,12E-06
		Wolkbrand	Verbranding	41	8760	6.09E-8	0.0384	2,05E-05
	Breuk TSK en DB Werken (2.4 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.77E-7	0.2	8,35E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	49	8760	4.77E-7	0.0096	4,01E-05
		Wolkbrand	Verbranding	18	8760	4.77E-7	0.0384	1,60E-04
	Lek (23.5 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-6	0.2	1,28E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	8760	5.4E-6	0.0096	6,13E-05
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	5.4E-6	0.0384	2,45E-04
LPG-SLANG 12 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (1.6 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	13	8760	1.94E-9	0.2	3,41E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	72	8760	1.94E-9	0.0096	1,63E-07
		Wolkbrand	Verbranding	52	8760	1.94E-9	0.0384	6,54E-07
	Breuk TSK of DB Faalt (1.6 kg/s (1.0 s) / 0.79 kg/s (384.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	8760	6.09E-8	0.2	1,07E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	50	8760	6.09E-8	0.0096	5,12E-06
		Wolkbrand	Verbranding	33	8760	6.09E-8	0.0384	2,05E-05
	Breuk TSK en DB Werken (1.6 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.77E-7	0.2	8,35E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	43	8760	4.77E-7	0.0096	4,01E-05
		Wolkbrand	Verbranding	16	8760	4.77E-7	0.0384	1,60E-04
	Lek (14.1 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-6	0.2	1,28E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	5.4E-6	0.0096	6,13E-05
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	5.4E-6	0.0384	2,45E-04

Onderdeel	Vrijzettingsscenario	Vervolgscenario	Effect	Max. effectafstand [m]	Rel. Kans	Faalkans	Vervolgkans	Totale kans
LPG-SLANG 12 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (3.8 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	17	8760	1.94E-9	0.2	3,41E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	106	8760	1.94E-9	0.0096	1,63E-07
		Wolkbrand	Verbranding	74	8760	1.94E-9	0.0384	6,54E-07
	Breuk TSK of DB Faalt (3.8 kg/s (1.0 s) / 1.9 kg/s (322.2 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	13	8760	6.09E-8	0.2	1,07E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	81	8760	6.09E-8	0.0096	5,12E-06
		Wolkbrand	Verbranding	57	8760	6.09E-8	0.0384	2,05E-05
	Breuk TSK en DB Werken (3.8 kg/s (1.0 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	8760	4.77E-7	0.2	8,35E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	57	8760	4.77E-7	0.0096	4,01E-05
		Wolkbrand	Verbranding	20	8760	4.77E-7	0.0384	1,60E-04
	Lek (33.9 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	3	8760	5.4E-6	0.2	1,28E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	8760	5.4E-6	0.0096	6,13E-05
		Wolkbrand	Verbranding	4	8760	5.4E-6	0.0384	2,45E-04
FLEXIBELE LEIDINGEN PERMANENT IN GEBRUIK (MET TERUGSLAGKLEP, ZONDER DOORSTROOMBEGRENZER)								
FLEXIBELE LEIDING 6MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK Faalt (0.27 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	6	1	7.2E-8*5/0.006*0.06	0.2	7,20E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	29	1	7.2E-8*5/0.006*0.06	0.0096	3,46E-08
		Wolkbrand	Verbranding	19	1	7.2E-8*5/0.006*0.06	0.0384	1,38E-07
	Breuk TSK Werkt (0.27 kg/s (1.0 s) / 0.14 kg/s (1799.0 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	4	1	7.2E-8*5/0.006*0.94	0.2	1,13E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	11	1	7.2E-8*5/0.006*0.94	0.0096	5,41E-07
		Wolkbrand	Verbranding	12	1	7.2E-8*5/0.006*0.94	0.0384	2,17E-06
	Lek (3.5 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	1	1	4E-7*5/0.006	0.2	6,67E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	0	1	4E-7*5/0.006	0.0096	3,20E-06
		Wolkbrand	Verbranding	0	1	4E-7*5/0.006	0.0384	1,28E-05
FLEXIBELE LEIDING 6MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK Faalt (0.65 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	45	1	7.2E-8*5/0.006*0.06	0.2	7,20E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	55	1	7.2E-8*5/0.006*0.06	0.0096	3,46E-08
		Wolkbrand	Verbranding	30	1	7.2E-8*5/0.006*0.06	0.0384	1,38E-07
	Breuk TSK Werkt (0.65 kg/s (1.0 s) / 0.33 kg/s (1799.0 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	6	1	7.2E-8*5/0.006*0.94	0.2	1,13E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	32	1	7.2E-8*5/0.006*0.94	0.0096	5,41E-07
		Wolkbrand	Verbranding	21	1	7.2E-8*5/0.006*0.94	0.0384	2,17E-06
	Lek (8.5 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	4E-7*5/0.006	0.2	6,67E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	4E-7*5/0.006	0.0096	3,20E-06
		Wolkbrand	Verbranding	2	1	4E-7*5/0.006	0.0384	1,28E-05
FLEXIBELE LEIDING 8MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK Faalt (0.57 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	7.2E-8*5/0.008*0.06	0.2	5,40E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	1	7.2E-8*5/0.008*0.06	0.0096	2,59E-08
		Wolkbrand	Verbranding	28	1	7.2E-8*5/0.008*0.06	0.0384	1,04E-07
	Breuk TSK Werkt (0.57 kg/s (1.0 s) / 0.29 kg/s (1053.6 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	6	1	7.2E-8*5/0.008*0.94	0.2	8,46E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	29	1	7.2E-8*5/0.008*0.94	0.0096	4,06E-07
		Wolkbrand	Verbranding	20	1	7.2E-8*5/0.008*0.94	0.0384	1,62E-06
	Lek (6.3 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	4E-7*5/0.008	0.2	5,00E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	4E-7*5/0.008	0.0096	2,40E-06
		Wolkbrand	Verbranding	2	1	4E-7*5/0.008	0.0384	9,60E-06
FLEXIBELE LEIDING 8MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK Faalt (1.4 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	11	1	7.2E-8*5/0.008*0.06	0.2	5,40E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	67	1	7.2E-8*5/0.008*0.06	0.0096	2,59E-08
		Wolkbrand	Verbranding	48	1	7.2E-8*5/0.008*0.06	0.0384	1,04E-07
	Breuk TSK Werkt (1.4 kg/s (1.0 s) / 0.69 kg/s (901.1 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	7.2E-8*5/0.008*0.94	0.2	8,46E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	46	1	7.2E-8*5/0.008*0.94	0.0096	4,06E-07
		Wolkbrand	Verbranding	31	1	7.2E-8*5/0.008*0.94	0.0384	1,62E-06
	Lek (15.1 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	4E-7*5/0.008	0.2	5,00E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	4E-7*5/0.008	0.0096	2,40E-06
		Wolkbrand	Verbranding	3	1	4E-7*5/0.008	0.0384	9,60E-06
FLEXIBELE LEIDING 10MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK Faalt (1.00 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	9	1	7.2E-8*5/0.010*0.06	0.2	4,32E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	56	1	7.2E-8*5/0.010*0.06	0.0096	2,07E-08
		Wolkbrand	Verbranding	37	1	7.2E-8*5/0.010*0.06	0.0384	8,29E-08
	Breuk TSK Werkt (1.00 kg/s (1.0 s) / 0.50 kg/s (607.7 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	7	1	7.2E-8*5/0.010*0.94	0.2	6,77E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	39	1	7.2E-8*5/0.010*0.94	0.0096	3,25E-07
		Wolkbrand	Verbranding	26	1	7.2E-8*5/0.010*0.94	0.0384	1,30E-06
	Lek (9.8 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	4E-7*5/0.010	0.2	4,00E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	4E-7*5/0.010	0.0096	1,92E-06
		Wolkbrand	Verbranding	2	1	4E-7*5/0.010	0.0384	7,68E-06
FLEXIBELE LEIDING 10MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK Faalt (2.4 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	13	1	7.2E-8*5/0.010*0.06	0.2	4,32E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	89	1	7.2E-8*5/0.010*0.06	0.0096	2,07E-08
		Wolkbrand	Verbranding	64	1	7.2E-8*5/0.010*0.06	0.0384	8,29E-08
	Breuk TSK Werkt (2.4 kg/s (1.0 s) / 1.2 kg/s (509.3 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	10	1	7.2E-8*5/0.010*0.94	0.2	6,77E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	62	1	7.2E-8*5/0.010*0.94	0.0096	3,25E-07
		Wolkbrand	Verbranding	41	1	7.2E-8*5/0.010*0.94	0.0384	1,30E-06
	Lek (23.5 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	3	1	4E-7*5/0.010	0.2	4,00E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	1	4E-7*5/0.010	0.0096	1,92E-06
		Wolkbrand	Verbranding	3	1	4E-7*5/0.010	0.0384	7,68E-06
FLEXIBELE LEIDING 12MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK Faalt (1.6 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	13	1	7.2E-8*5/0.012*0.06	0.2	3,60E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	70	1	7.2E-8*5/0.012*0.06	0.0096	1,73E-08
		Wolkbrand	Verbranding	52	1	7.2E-8*5/0.012*0.06	0.0384	6,91E-08
	Breuk TSK Werkt (1.6 kg/s (1.0 s) / 0.79 kg/s (384.0 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	9	1	7.2E-8*5/0.012*0.94	0.2	5,64E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	50	1	7.2E-8*5/0.012*0.94	0.0096	2,71E-07
		Wolkbrand	Verbranding	33	1	7.2E-8*5/0.012*0.94	0.0384	1,08E-06
	Lek (14.1 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	4E-7*5/0.012	0.2	3,33E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	4E-7*5/0.012	0.0096	1,60E-06
		Wolkbrand	Verbranding	3	1	4E-7*5/0.012	0.0384	6,40E-06
FLEXIBELE LEIDING 12MM MET TERUGSLAGKLEP (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK Faalt (3.8 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	17	1	7.2E-8*5/0.012*0.06	0.2	3,60E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	106	1	7.2E-8*5/0.012*0.06	0.0096	1,73E-08
		Wolkbrand	Verbranding	74	1	7.2E-8*5/0.012*0.06	0.0384	6,91E-08
	Breuk TSK Werkt (3.8 kg/s (1.0 s) / 1.9 kg/s (322.2 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	13	1	7.2E-8*5/0.012*0.94	0.2	5,64E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	81	1	7.2E-8*5/0.012*0.94	0.0096	2,71E-07
		Wolkbrand	Verbranding	57	1	7.2E-8*5/0.012*0.94	0.0384	1,08E-06
	Lek (33.9 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	3	1	4E-7*5/0.012	0.2	3,33E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	1	4E-7*5/0.012	0.0096	1,60E-06
		Wolkbrand	Verbranding	4	1	4E-7*5/0.012	0.0384	6,40E-06
FLEXIBELE LEIDINGEN PERMANENT IN GEBRUIK (MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER)								
FLEXIBELE LEIDING 6 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (0.27 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	6	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.006	0.2	4,32E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	29	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.006	0.0096	2,07E-09
		Wolkbrand	Verbranding	19	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.006	0.0384	8,29E-09
	Breuk TSK of DB Faalt (0.27 kg/s (1.0 s) / 0.14 kg/s (1799.0 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	4	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.006	0.2	1,35E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	23	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.006	0.0096	6,50E-08
		Wolkbrand	Verbranding	12	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.006	0.0384	2,60E-07
	Breuk TSK en DB Werken (0.27 kg/s (1.0 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.006	0.2	1,06E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	11	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.006	0.0096	5,09E-07
		Wolkbrand	Verbranding	11	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.006	0.0384	2,04E-06
	Lek (3.5 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	1	1	4E-7*5/0.006	0.2	6,67E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	0	1	4E-7*5/0.006	0.0096	3,20E-06
		Wolkbrand	Verbranding	0	1	4E-7*5/0.006	0.0384	1,28E-05

Onderdeel	Vrijzettingsscenario	Vervolgscenario	Effect	Max. effectafstand [m]	Rel. Kans	Faalkans	Vervolgkans	Totale kans
FLEXIBELE LEIDING 6 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (0.65 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.006	0.2	4,32E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.006	0.0096	2,07E-09
		Wolkbrand	Verbranding	30	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.006	0.0384	8,29E-09
	Breuk TSK of DB Faalt (0.65 kg/s (1.0 s) / 0.33 kg/s (1799.0 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	6	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.006	0.2	1,35E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	32	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.006	0.0096	6,50E-08
		Wolkbrand	Verbranding	21	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.006	0.0384	2,60E-07
	Breuk TSK en DB Werken (0.65 kg/s (1.0 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.006	0.2	1,06E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	32	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.006	0.0096	5,09E-07
		Wolkbrand	Verbranding	14	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.006	0.0384	2,04E-06
	Lek (8.5 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	4E-7*5/0.006	0.2	6,67E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	4E-7*5/0.006	0.0096	3,20E-06
		Wolkbrand	Verbranding	2	1	4E-7*5/0.006	0.0384	1,28E-05
FLEXIBELE LEIDING 8 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (0.57 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.008	0.2	3,24E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.008	0.0096	1,56E-09
		Wolkbrand	Verbranding	28	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.008	0.0384	6,22E-09
	Breuk TSK of DB Faalt (0.57 kg/s (1.0 s) / 0.29 kg/s (1053.6 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	6	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.008	0.2	1,02E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	29	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.008	0.0096	4,87E-08
		Wolkbrand	Verbranding	20	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.008	0.0384	1,95E-07
	Breuk TSK en DB Werken (0.57 kg/s (1.0 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.008	0.2	7,95E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	29	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.008	0.0096	3,82E-07
		Wolkbrand	Verbranding	13	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.008	0.0384	1,53E-06
	Lek (6.3 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	1	1	4E-7*5/0.008	0.2	5,00E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	4E-7*5/0.008	0.0096	2,40E-06
		Wolkbrand	Verbranding	2	1	4E-7*5/0.008	0.0384	9,60E-06
FLEXIBELE LEIDING 8 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (1.4 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	11	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.008	0.2	3,24E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	67	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.008	0.0096	1,56E-09
		Wolkbrand	Verbranding	48	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.008	0.0384	6,22E-09
	Breuk TSK of DB Faalt (1.4 kg/s (1.0 s) / 0.69 kg/s (901.1 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.008	0.2	1,02E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	46	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.008	0.0096	4,87E-08
		Wolkbrand	Verbranding	31	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.008	0.0384	1,95E-07
	Breuk TSK en DB Werken (1.4 kg/s (1.0 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.008	0.2	7,95E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	40	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.008	0.0096	3,82E-07
		Wolkbrand	Verbranding	16	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.008	0.0384	1,53E-06
	Lek (15.1 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	4E-7*5/0.008	0.2	5,00E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	4E-7*5/0.008	0.0096	2,40E-06
		Wolkbrand	Verbranding	3	1	4E-7*5/0.008	0.0384	9,60E-06
FLEXIBELE LEIDING 10 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (1.00 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	9	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.010	0.2	2,59E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	56	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.010	0.0096	1,24E-09
		Wolkbrand	Verbranding	37	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.010	0.0384	4,98E-09
	Breuk TSK of DB Faalt (1.00 kg/s (1.0 s) / 0.50 kg/s (607.7 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	7	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.010	0.2	8,12E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	39	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.010	0.0096	3,90E-08
		Wolkbrand	Verbranding	26	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.010	0.0384	1,56E-07
	Breuk TSK en DB Werken (1.00 kg/s (1.0 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.010	0.2	6,36E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	35	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.010	0.0096	3,05E-07
		Wolkbrand	Verbranding	15	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.010	0.0384	1,22E-06
	Lek (9.8 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	4E-7*5/0.010	0.2	4,00E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	4E-7*5/0.010	0.0096	1,92E-06
		Wolkbrand	Verbranding	2	1	4E-7*5/0.010	0.0384	7,68E-06
FLEXIBELE LEIDING 10 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (2.4 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	13	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.010	0.2	2,59E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	89	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.010	0.0096	1,24E-09
		Wolkbrand	Verbranding	64	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.010	0.0384	4,98E-09
	Breuk TSK of DB Faalt (2.4 kg/s (1.0 s) / 1.2 kg/s (509.9 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	10	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.010	0.2	8,12E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	62	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.010	0.0096	3,90E-08
		Wolkbrand	Verbranding	41	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.010	0.0384	1,56E-07
	Breuk TSK en DB Werken (2.4 kg/s (1.0 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.010	0.2	6,36E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	49	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.010	0.0096	3,05E-07
		Wolkbrand	Verbranding	18	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.010	0.0384	1,22E-06
	Lek (23.5 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	4E-7*5/0.010	0.2	4,00E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	1	4E-7*5/0.010	0.0096	1,92E-06
		Wolkbrand	Verbranding	3	1	4E-7*5/0.010	0.0384	7,68E-06
FLEXIBELE LEIDING 12 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (1.6 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	13	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.012	0.2	2,16E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	72	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.012	0.0096	1,04E-09
		Wolkbrand	Verbranding	52	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.012	0.0384	4,15E-09
	Breuk TSK of DB Faalt (1.6 kg/s (1.0 s) / 0.79 kg/s (384.0 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	9	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.012	0.2	6,77E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	50	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.012	0.0096	3,25E-08
		Wolkbrand	Verbranding	33	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.012	0.0384	1,30E-07
	Breuk TSK en DB Werken (1.6 kg/s (1.0 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.012	0.2	5,30E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	43	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.012	0.0096	2,54E-07
		Wolkbrand	Verbranding	16	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.012	0.0384	1,02E-06
	Lek (14.1 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	4E-7*5/0.012	0.2	3,33E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	4E-7*5/0.012	0.0096	1,60E-06
		Wolkbrand	Verbranding	3	1	4E-7*5/0.012	0.0384	6,40E-06
FLEXIBELE LEIDING 12 MM MET TERUGSLAGKLEP EN DOORSTROOMBEGRENZER (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK en DB Falen (3.8 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	17	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.012	0.2	2,16E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	106	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.012	0.0096	1,04E-09
		Wolkbrand	Verbranding	74	1	7.2E-8*0.06*0.06*5/0.012	0.0384	4,15E-09
	Breuk TSK of DB Faalt (3.8 kg/s (1.0 s) / 1.9 kg/s (322.2 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	13	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.012	0.2	6,77E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	81	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.012	0.0096	3,25E-08
		Wolkbrand	Verbranding	57	1	7.2E-8*0.06*0.94*2*5/0.012	0.0384	1,30E-07
	Breuk TSK en DB Werken (3.8 kg/s (1.0 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.012	0.2	5,30E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	57	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.012	0.0096	2,54E-07
		Wolkbrand	Verbranding	20	1	7.2E-8*0.94*0.94*5/0.012	0.0384	1,02E-06
	Lek (33.9 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	3	1	4E-7*5/0.012	0.2	3,33E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	1	4E-7*5/0.012	0.0096	1,60E-06
		Wolkbrand	Verbranding	4	1	4E-7*5/0.012	0.0384	6,40E-06
ELEMENTEN VAN EEN LAGEDRUK OPSLAGBUFFER								
BOVENGRONDSE DRUKTANK 50 M3 (MAX. VULDRUK: 50 BAR)	Breuk (211.2 kg)	Fysische explosie	Overdruk	100	1	3.2E-7	1	3,20E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	125	1	3.2E-7	0.0096	3,07E-09
		Vuurbal	Warmtestraling	30	1	3.2E-7	0.2	6,40E-08
	Uitstroming 10min (0.35 kg/s)	Wolkbrand	Verbranding	23	1	3.2E-7	0.0384	1,23E-08
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	6	1	3.2E-7	0.2	6,40E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	32	1	3.2E-7	0.0096	3,07E-09
	Middelgroot lek (0.35 kg/s)	Wolkbrand	Verbranding	22	1	3.2E-7	0.0384	1,23E-08
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	6	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	32	1	1.11E-5	0.0096	1,07E-07
	Klein lek (0.25 kg/s)	Wolkbrand	Verbranding	22	1	1.11E-5	0.0384	4,26E-07
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	27	1	5.5E-5	0.0096	5,28E-07
		Wolkbrand	Verbranding	18	1	5.5E-5	0.0384	2,11E-06

Onderdeel	Vrijzettingsscenario	Vervolgscenario	Effect	Max. effectafstand [m]	Rel. Kans	Faalkans	Vervolgkans	Totale kans
BOVENGRONDSE DRUKTANK 75 M3 (MAX. VULDRUK: 50 BAR)	Breuk (316.8 kg)	Fysische explosie	Overdruk	115	1	3.2E-7	1	3,20E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	140	1	3.2E-7	0.0096	3,07E-09
		Vuurbal	Warmtestraling	36	1	3.2E-7	0.2	6,40E-08
		Wolkbrand	Verbranding	23	1	3.2E-7	0.0384	1,23E-08
	Uitstroming_10min (0.53 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	7	1	3.2E-7	0.2	6,40E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	41	1	3.2E-7	0.0096	3,07E-09
		Wolkbrand	Verbranding	27	1	3.2E-7	0.0384	1,23E-08
		Fakkelbrand	Warmtestraling	7	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06
	Middelgroot_lek (0.53 kg/s)	Gaswolkexplosie	Overdruk	41	1	1.11E-5	0.0096	1,07E-07
		Wolkbrand	Verbranding	27	1	1.11E-5	0.0384	4,26E-07
		Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	27	1	5.5E-5	0.0096	5,28E-07
Klein_lek (0.25 kg/s)	Wolkbrand	Verbranding	18	1	5.5E-5	0.0384	2,11E-06	
	Fysische explosie	Overdruk	125	1	3.2E-7	1	3,20E-07	
	Gaswolkexplosie	Overdruk	155	1	3.2E-7	0.0096	3,07E-09	
	Vuurbal	Warmtestraling	42	1	3.2E-7	0.2	6,40E-08	
BOVENGRONDSE DRUKTANK 100 M3 (MAX. VULDRUK: 50 BAR)	Breuk (422.4 kg)	Wolkbrand	Verbranding	25	1	3.2E-7	0.0384	1,23E-08
		Fakkelbrand	Warmtestraling	9	1	3.2E-7	0.2	6,40E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	48	1	3.2E-7	0.0096	3,07E-09
		Wolkbrand	Verbranding	31	1	3.2E-7	0.0384	1,23E-08
	Uitstroming 10min (0.70 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	48	1	1.11E-5	0.0096	1,07E-07
		Wolkbrand	Verbranding	31	1	1.11E-5	0.0384	4,26E-07
		Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05
	Middelgroot lek (0.70 kg/s)	Gaswolkexplosie	Overdruk	27	1	5.5E-5	0.0096	5,28E-07
		Wolkbrand	Verbranding	18	1	5.5E-5	0.0384	2,11E-06
		Fysische explosie	Overdruk	135	1	3.2E-7	1	3,20E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	165	1	3.2E-7	0.0096	3,07E-09
Breuk (528.0 kg)	Vuurbal	Warmtestraling	46	1	3.2E-7	0.2	6,40E-08	
	Wolkbrand	Verbranding	25	1	3.2E-7	0.0384	1,23E-08	
	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	1	3.2E-7	0.2	6,40E-08	
	Gaswolkexplosie	Overdruk	53	1	3.2E-7	0.0096	3,07E-09	
Uitstroming_10min (0.88 kg/s)	Wolkbrand	Verbranding	34	1	3.2E-7	0.0384	1,23E-08	
	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06	
	Gaswolkexplosie	Overdruk	53	1	1.11E-5	0.0096	1,07E-07	
	Wolkbrand	Verbranding	34	1	1.11E-5	0.0384	4,26E-07	
Middelgroot_lek (0.88 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05	
	Gaswolkexplosie	Overdruk	27	1	5.5E-5	0.0096	5,28E-07	
	Wolkbrand	Verbranding	18	1	5.5E-5	0.0384	2,11E-06	
	Fakkelbrand	Warmtestraling	18	1	5.5E-5	0.0384	2,11E-06	
BOVENGRONDSE DRUKTANK 125 M3 (MAX. VULDRUK: 50 BAR)	Breuk (633.6 kg)	Fysische explosie	Overdruk	145	1	3.2E-7	1	3,20E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	165	1	3.2E-7	0.0096	3,07E-09
		Vuurbal	Warmtestraling	50	1	3.2E-7	0.2	6,40E-08
		Wolkbrand	Verbranding	26	1	3.2E-7	0.0384	1,23E-08
	Uitstroming_10min (1.1 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	10	1	3.2E-7	0.2	6,40E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	58	1	3.2E-7	0.0096	3,07E-09
		Wolkbrand	Verbranding	42	1	3.2E-7	0.0384	1,23E-08
		Fakkelbrand	Warmtestraling	10	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06
	Middelgroot_lek (1.1 kg/s)	Gaswolkexplosie	Overdruk	58	1	1.11E-5	0.0096	1,07E-07
		Wolkbrand	Verbranding	42	1	1.11E-5	0.0384	4,26E-07
		Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	27	1	5.5E-5	0.0096	5,28E-07
Klein_lek (0.25 kg/s)	Wolkbrand	Verbranding	18	1	5.5E-5	0.0384	2,11E-06	
	Fysische explosie	Overdruk	100	1	1.6E-7	1	1,60E-07	
	Gaswolkexplosie	Overdruk	125	1	1.6E-7	0.0096	1,54E-09	
	Vuurbal	Warmtestraling	30	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08	
ONDERGRONDSE DRUKTANK 50 M3 (MAX. VULDRUK: 50 BAR)	Breuk (211.2 kg)	Wolkbrand	Verbranding	23	1	1.6E-7	0.0384	6,14E-09
		Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	6	1	1.1E-5	0.2	2,22E-06
		Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05
	Uitstroming 10min	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	100	1	1.6E-7	1	1,60E-07
		Wolkbrand	Verbranding	23	1	1.6E-7	0.0384	6,14E-09
		Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08
	Middelgroot lek	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	1.1E-5	0.2	2,22E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	100	1	1.6E-7	1	1,60E-07
		Wolkbrand	Verbranding	23	1	1.6E-7	0.0384	6,14E-09
		Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05
ONDERGRONDSE DRUKTANK 75 M3 (MAX. VULDRUK: 50 BAR)	Breuk (316.8 kg)	Fysische explosie	Overdruk	115	1	1.6E-7	1	1,60E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	140	1	1.6E-7	0.0096	1,54E-09
		Vuurbal	Warmtestraling	36	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08
		Wolkbrand	Verbranding	23	1	1.6E-7	0.0384	6,14E-09
	Uitstroming 10min	Fakkelbrand	Warmtestraling	7	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	7	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06
		Wolkbrand	Verbranding	7	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06
		Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05
	Middelgroot lek	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	125	1	1.6E-7	1	1,60E-07
		Wolkbrand	Verbranding	25	1	1.6E-7	0.0384	6,14E-09
		Fakkelbrand	Warmtestraling	9	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08
Uitstroming_10min	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08	
	Gaswolkexplosie	Overdruk	155	1	1.6E-7	0.0096	1,54E-09	
	Vuurbal	Warmtestraling	42	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08	
	Wolkbrand	Verbranding	25	1	1.6E-7	0.0384	6,14E-09	
Middelgroot lek	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08	
	Gaswolkexplosie	Overdruk	9	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06	
	Wolkbrand	Verbranding	9	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06	
	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05	
ONDERGRONDSE DRUKTANK 100 M3 (MAX. VULDRUK: 50 BAR)	Breuk (422.4 kg)	Fysische explosie	Overdruk	135	1	1.6E-7	1	1,60E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	165	1	1.6E-7	0.0096	1,54E-09
		Vuurbal	Warmtestraling	46	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08
		Wolkbrand	Verbranding	25	1	1.6E-7	0.0384	6,14E-09
	Uitstroming 10min	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	9	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06
		Wolkbrand	Verbranding	9	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06
		Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05
	Middelgroot lek	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	135	1	1.6E-7	1	1,60E-07
		Wolkbrand	Verbranding	25	1	1.6E-7	0.0384	6,14E-09
		Fakkelbrand	Warmtestraling	9	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08
Uitstroming_10min	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08	
	Gaswolkexplosie	Overdruk	155	1	1.6E-7	0.0096	1,54E-09	
	Vuurbal	Warmtestraling	42	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08	
	Wolkbrand	Verbranding	25	1	1.6E-7	0.0384	6,14E-09	
Middelgroot lek	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08	
	Gaswolkexplosie	Overdruk	9	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06	
	Wolkbrand	Verbranding	9	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06	
	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05	
ONDERGRONDSE DRUKTANK 125 M3 (MAX. VULDRUK: 50 BAR)	Breuk (528.0 kg)	Fysische explosie	Overdruk	145	1	1.6E-7	1	1,60E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	165	1	1.6E-7	0.0096	1,54E-09
		Vuurbal	Warmtestraling	50	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08
		Wolkbrand	Verbranding	26	1	1.6E-7	0.0384	6,14E-09
	Uitstroming 10min	Fakkelbrand	Warmtestraling	10	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	10	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06
		Wolkbrand	Verbranding	10	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06
		Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05
	Middelgroot lek	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	145	1	1.6E-7	1	1,60E-07
		Wolkbrand	Verbranding	26	1	1.6E-7	0.0384	6,14E-09
		Fakkelbrand	Warmtestraling	10	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08
Uitstroming_10min	Fakkelbrand	Warmtestraling	10	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08	
	Gaswolkexplosie	Overdruk	10	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06	
	Wolkbrand	Verbranding	10	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06	
	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05	
ONDERGRONDSE DRUKTANK 150 M3 (MAX. VULDRUK: 50 BAR)	Breuk (633.6 kg)	Fysische explosie	Overdruk	145	1	1.6E-7	1	1,60E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	165	1	1.6E-7	0.0096	1,54E-09
		Vuurbal	Warmtestraling	50	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08
		Wolkbrand	Verbranding	26	1	1.6E-7	0.0384	6,14E-09
	Uitstroming 10min	Fakkelbrand	Warmtestraling	10	1	1.6E-7	0.2	3,20E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	10	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06
		Wolkbrand	Verbranding	10	1	1.11E-5	0.2	2,22E-06
		Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05
	Middelgroot lek	Fakkelbrand	Warmtestraling	6	1	5.5E-5	0.2	1,10E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	16	1	1.1E-6	1	1,10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	25	1	1.1E-6	0.0096	1,06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	2	1	1.1E-6	0.2	2,20E-07
GASFLES 50 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (0.8 kg)	Wolkbrand	Verbranding	14	1	1.1E-6	0.0384	4,22E-08
		Fysische explosie	Overdruk	19	1	1.1E-6	1	1,10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	29	1	1.1E-6	0.0096	1,06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	3	1	1.1E-6	0.2	2,20E-07
	Uitstroming 10min	Fakkelbrand	Warmtestraling	3	1	1.1E-6	0.2	2,20E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	17	1	1.1E-6	0.0384	4,22E-08
		Wolkbrand	Verbranding	17	1	1.1E-6	0.0384	4,22E-08
		Fakkelbrand	Warmtestraling	3	1	1.1E-6	0.2	2,20E-07
	Middelgroot lek	Fakkelbrand	Warmtestraling	3	1	1.1E-6	0.2	2,20E-07
		Gaswolkexplosie						

Onderdeel	Vrijzettingsscenario	Vervolgscenario	Effect	Max. effectafstand [m]	Rel. Kans	Faalkans	Vervolgkans	Totale kans
GASFLES 150 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (2.3 kg)	Fysische explosie	Overdruk	24	1	1.1E-6	1	1,10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	35	1	1.1E-6	0.0096	1,06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	3	1	1.1E-6	0.2	2,20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	23	1	1.1E-6	0.0384	4,22E-08
CILINDER 200 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (3.0 kg)	Fysische explosie	Overdruk	26	1	1.1E-6	1	1,10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	39	1	1.1E-6	0.0096	1,06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	4	1	1.1E-6	0.2	2,20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	26	1	1.1E-6	0.0384	4,22E-08
	Lek (0.25 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	4	1	1.1E-5	0.2	2,20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	26	1	1.1E-5	0.0096	1,06E-07
CILINDER 250 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (3.8 kg)	Fysische explosie	Overdruk	28	1	1.1E-6	1	1,10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	41	1	1.1E-6	0.0096	1,06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	5	1	1.1E-6	0.2	2,20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	27	1	1.1E-6	0.0384	4,22E-08
	Lek (0.25 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	5	1	1.1E-5	0.2	2,20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	26	1	1.1E-5	0.0096	1,06E-07
CILINDER 300 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (4.5 kg)	Fysische explosie	Overdruk	30	1	1.1E-6	1	1,10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	46	1	1.1E-6	0.0096	1,06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	5	1	1.1E-6	0.2	2,20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	29	1	1.1E-6	0.0384	4,22E-08
	Lek (0.25 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	5	1	1.1E-5	0.2	2,20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	26	1	1.1E-5	0.0096	1,06E-07
CILINDER 350 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (5.3 kg)	Fysische explosie	Overdruk	30	1	1.1E-6	1	1,10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	47	1	1.1E-6	0.0096	1,06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	5	1	1.1E-6	0.2	2,20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	30	1	1.1E-6	0.0384	4,22E-08
	Lek (0.25 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	5	1	1.1E-5	0.2	2,20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	26	1	1.1E-5	0.0096	1,06E-07
CILINDER 400 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (6.1 kg)	Fysische explosie	Overdruk	32	1	1.1E-6	1	1,10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	48	1	1.1E-6	0.0096	1,06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	6	1	1.1E-6	0.2	2,20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	33	1	1.1E-6	0.0384	4,22E-08
	Lek (0.25 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	5	1	1.1E-5	0.2	2,20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	26	1	1.1E-5	0.0096	1,06E-07
CILINDER 450 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (6.8 kg)	Fysische explosie	Overdruk	34	1	1.1E-6	1	1,10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	52	1	1.1E-6	0.0096	1,06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	6	1	1.1E-6	0.2	2,20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	34	1	1.1E-6	0.0384	4,22E-08
	Lek (0.25 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	5	1	1.1E-5	0.2	2,20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	26	1	1.1E-5	0.0096	1,06E-07
CILINDER 500 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (7.6 kg)	Fysische explosie	Overdruk	34	1	1.1E-6	1	1,10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	53	1	1.1E-6	0.0096	1,06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	7	1	1.1E-6	0.2	2,20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	36	1	1.1E-6	0.0384	4,22E-08
	Lek (0.25 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	5	1	1.1E-5	0.2	2,20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	26	1	1.1E-5	0.0096	1,06E-07
CILINDER 550 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (8.3 kg)	Fysische explosie	Overdruk	36	1	1.1E-6	1	1,10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	53	1	1.1E-6	0.0096	1,06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	7	1	1.1E-6	0.2	2,20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	38	1	1.1E-6	0.0384	4,22E-08
	Lek (0.25 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	5	1	1.1E-5	0.2	2,20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	26	1	1.1E-5	0.0096	1,06E-07
		Wolkbrand	Verbranding	18	1	1.1E-5	0.0384	4,22E-07

Onderdeel	Vrijzettingsscenario	Vervolgscenario	Effect	Max. effectafstand [m]	Rel. Kans	Faalkans	Vervolgkans	Totale kans
CILINDER 600 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (9.1 kg)	Fysische explosie	Overdruk	36	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	56	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	7	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	37	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (0.25 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	5	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	26	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 650 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (20.2 kg)	Fysische explosie	Overdruk	38	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	58	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	8	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	37	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (0.59 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	5	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	26	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 700 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (10.6 kg)	Fysische explosie	Overdruk	38	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	58	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	8	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	37	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (0.25 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	5	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	26	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 750 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (11.4 kg)	Fysische explosie	Overdruk	40	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	59	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	8	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	36	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (0.25 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	5	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	26	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 1100 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (16.7 kg)	Fysische explosie	Overdruk	44	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	69	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	10	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	34	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (0.63 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 1300 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (19.7 kg)	Fysische explosie	Overdruk	44	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	69	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	10	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	33	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (0.63 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 1500 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (22.7 kg)	Fysische explosie	Overdruk	50	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	73	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	11	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	32	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (0.63 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 1700 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (25.8 kg)	Fysische explosie	Overdruk	52	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	73	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	12	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	31	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (0.63 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 1900 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (28.8 kg)	Fysische explosie	Overdruk	54	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	78	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	13	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	31	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (0.63 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 2100 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (31.8 kg)	Fysische explosie	Overdruk	56	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	78	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	13	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	30	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (0.63 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 2300 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (34.9 kg)	Fysische explosie	Overdruk	56	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	78	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	14	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	29	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (0.63 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 2500 LITER (MAX. VULDRUK: 200 BAR)	Breuk (37.9 kg)	Fysische explosie	Overdruk	58	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	82	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	14	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	29	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (0.63 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
ELEMENTEN VAN EEN MIDDENDRUK BUFFER	Breuk (1.6 kg)	Fysische explosie	Overdruk	22	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	32	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	3	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	19	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Breuk (2.5 kg)	Fysische explosie	Overdruk	24	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	36	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
GASFLES 150 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (4.7 kg)	Vuurbal	Warmtestraling	4	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	24	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
		Fysische explosie	Overdruk	30	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	46	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
	Vuurbal	Warmtestraling	5	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	29	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08

Onderdeel	Vrijzettingsscenario	Vervolgscenario	Effect	Max. effectafstand [m]	Rel. Kans	Faalkans	Vervolgkans	Totale kans
CILINDER 200 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (6.2 kg)	Fysische explosie	Overdruk	32	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	48	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	6	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
	Lek (0.59 kg/s)	Wolkbrand	Verbranding	33	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	6	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 250 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (7.8 kg)	Wolkbrand	Verbranding	29	1	1.1E-5	0.0384	4.22E-07
		Fysische explosie	Overdruk	36	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	53	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
	Lek (0.59 kg/s)	Vuurbal	Warmtestraling	7	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	36	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	7	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
CILINDER 300 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (9.3 kg)	Gaswolkexplosie	Overdruk	42	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
		Vuurbal	Warmtestraling	7	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	40	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (0.59 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	7	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Wolkbrand	Verbranding	29	1	1.1E-5	0.0384	4.22E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 350 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (10.9 kg)	Fysische explosie	Overdruk	40	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	58	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	8	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
	Lek (0.59 kg/s)	Wolkbrand	Verbranding	41	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 400 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (12.4 kg)	Wolkbrand	Verbranding	29	1	1.1E-5	0.0384	4.22E-07
		Fysische explosie	Overdruk	42	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	64	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
	Lek (0.59 kg/s)	Vuurbal	Warmtestraling	8	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	40	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
CILINDER 450 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (14.0 kg)	Gaswolkexplosie	Overdruk	42	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
		Vuurbal	Warmtestraling	9	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	39	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (0.59 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Wolkbrand	Verbranding	29	1	1.1E-5	0.0384	4.22E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 500 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (15.5 kg)	Fysische explosie	Overdruk	44	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	69	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	9	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
	Lek (0.59 kg/s)	Wolkbrand	Verbranding	39	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 550 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (17.1 kg)	Wolkbrand	Verbranding	29	1	1.1E-5	0.0384	4.22E-07
		Fysische explosie	Overdruk	46	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	64	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
	Lek (0.59 kg/s)	Vuurbal	Warmtestraling	10	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	38	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
CILINDER 600 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (18.6 kg)	Gaswolkexplosie	Overdruk	42	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
		Vuurbal	Warmtestraling	10	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	38	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (0.59 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Wolkbrand	Verbranding	29	1	1.1E-5	0.0384	4.22E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 650 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (20.2 kg)	Fysische explosie	Overdruk	48	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	73	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	11	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
	Lek (0.59 kg/s)	Wolkbrand	Verbranding	37	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 700 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (21.8 kg)	Wolkbrand	Verbranding	29	1	1.1E-5	0.0384	4.22E-07
		Fysische explosie	Overdruk	50	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	73	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
	Lek (0.59 kg/s)	Vuurbal	Warmtestraling	11	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	37	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
CILINDER 750 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (23.3 kg)	Gaswolkexplosie	Overdruk	42	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
		Vuurbal	Warmtestraling	11	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	36	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (0.59 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Wolkbrand	Verbranding	29	1	1.1E-5	0.0384	4.22E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 1000 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (31.1 kg)	Fysische explosie	Overdruk	56	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	80	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	13	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
	Lek (1.5 kg/s)	Wolkbrand	Verbranding	35	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	12	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	67	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 1500 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (46.6 kg)	Wolkbrand	Verbranding	47	1	1.1E-5	0.0384	4.22E-07
		Fysische explosie	Overdruk	64	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	88	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
	Lek (1.5 kg/s)	Vuurbal	Warmtestraling	16	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	32	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	12	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	67	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
		Wolkbrand	Verbranding	47	1	1.1E-5	0.0384	4.22E-07

Onderdeel	Vrijzettingsscenario	Vervolgscenario	Effect	Max. effectafstand [m]	Rel. Kans	Faalkans	Vervolgkans	Totale kans
CILINDER 2000 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (62.1 kg)	Fysische explosie	Overdruk	70	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	92	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	18	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	31	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (1.5 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	12	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	67	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 2500 LITER (MAX. VULDRUK: 500 BAR)	Breuk (77.7 kg)	Fysische explosie	Overdruk	74	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	97	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	20	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	30	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (1.5 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	12	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	67	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
ELEMENTEN VAN EEN HOGEDRUK BUFFER								
GASFLIES 50 LITER (MAX. VULDRUK: 1000 BAR)	Breuk (2.4 kg)	Fysische explosie	Overdruk	24	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	36	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	4	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	23	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
GASFLIES 80 LITER (MAX. VULDRUK: 1000 BAR)	Breuk (3.8 kg)	Fysische explosie	Overdruk	28	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	42	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	5	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	29	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
GASFLIES 150 LITER (MAX. VULDRUK: 1000 BAR)	Breuk (7.2 kg)	Fysische explosie	Overdruk	34	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	53	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	6	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	35	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
CILINDER 200 LITER (MAX. VULDRUK: 1000 BAR)	Breuk (9.6 kg)	Fysische explosie	Overdruk	38	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	58	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	7	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	40	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (1.1 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	6	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	57	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 250 LITER (MAX. VULDRUK: 1000 BAR)	Breuk (12.0 kg)	Fysische explosie	Overdruk	40	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	62	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	8	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	43	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (1.1 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	7	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	57	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 300 LITER (MAX. VULDRUK: 1000 BAR)	Breuk (14.4 kg)	Fysische explosie	Overdruk	44	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	64	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	9	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	42	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (1.1 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	57	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 350 LITER (MAX. VULDRUK: 1000 BAR)	Breuk (16.8 kg)	Fysische explosie	Overdruk	46	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	71	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	10	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	42	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (1.1 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	9	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	57	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 400 LITER (MAX. VULDRUK: 1000 BAR)	Breuk (19.2 kg)	Fysische explosie	Overdruk	48	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	71	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	10	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	41	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (1.1 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	9	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	57	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 450 LITER (MAX. VULDRUK: 1000 BAR)	Breuk (21.6 kg)	Fysische explosie	Overdruk	50	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	76	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	11	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	40	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (1.1 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	10	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	57	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 500 LITER (MAX. VULDRUK: 1000 BAR)	Breuk (23.9 kg)	Fysische explosie	Overdruk	52	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	76	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	12	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	40	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (1.1 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	10	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	57	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 550 LITER (MAX. VULDRUK: 1000 BAR)	Breuk (26.3 kg)	Fysische explosie	Overdruk	52	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	81	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	12	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	39	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (1.1 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	10	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	57	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 600 LITER (MAX. VULDRUK: 1000 BAR)	Breuk (28.7 kg)	Fysische explosie	Overdruk	54	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	81	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	13	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	39	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (1.1 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	10	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	57	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
CILINDER 650 LITER (MAX. VULDRUK: 1000 BAR)	Breuk (31.1 kg)	Fysische explosie	Overdruk	56	1	1.1E-6	1	1.10E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	82	1	1.1E-6	0.0096	1.06E-08
		Vuurbal	Warmtestraling	13	1	1.1E-6	0.2	2.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	39	1	1.1E-6	0.0384	4.22E-08
	Lek (1.1 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	10	1	1.1E-5	0.2	2.20E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	57	1	1.1E-5	0.0096	1.06E-07
		Wolkbrand	Verbranding	39	1	1.1E-5	0.0384	4.22E-07

Onderdeel	Vrijzettingsscenario	Vervolgscenario	Effect	Max. effectafstand [m]	Rel. Kans	Faalkans	Vervolgkans	Totale kans	
CILINDER 700 LITER (MAX. VULDRUK: 1000 BAR)	Breuk (33.5 kg)	Fysische explosie	Overdruk	56	1	1.1E-6	1	1,10E-06	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	86	1	1.1E-6	0.0096	1,06E-08	
		Vuurbal	Warmtestraling	14	1	1.1E-6	0.2	2,20E-07	
	Lek (1.1 kg/s)	Wolkbrand	Verbranding	39	1	1.1E-6	0.0384	4,22E-08	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	10	1	1.1E-5	0.2	2,20E-06	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	57	1	1.1E-5	0.0096	1,06E-07	
CILINDER 750 LITER (MAX. VULDRUK: 1000 BAR)	Breuk (35.9 kg)	Wolkbrand	Verbranding	39	1	1.1E-5	0.0384	4,22E-07	
		Fysische explosie	Overdruk	58	1	1.1E-6	1	1,10E-06	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	86	1	1.1E-6	0.0096	1,06E-08	
	Lek (1.1 kg/s)	Vuurbal	Warmtestraling	14	1	1.1E-6	0.2	2,20E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	38	1	1.1E-6	0.0384	4,22E-08	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	10	1	1.1E-5	0.2	2,20E-06	
COMPRESSOREN IN EEN BESLOTEN RUIMTE	Breuk TSK Faalt	Gaswolkexplosie	Overdruk	57	1	1.1E-5	0.0096	1,06E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	39	1	1.1E-5	0.0384	4,22E-07	
		Fysische explosie	Overdruk	58	1	1.1E-6	1	1,10E-06	
10FT COMPRESSOR-MODULE (MET DRUKONTLASTING)	Breuk TSK Werk	Gaswolkexplosie	Overdruk	6	1	1E-4*0.94*0.1	(1-0.2)*0.06	2,88E-07	
		Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	6	1	4.4E-3*0.1	(1-0.2)*0.06	2,11E-05
		Breuk TSK Faalt	Gaswolkexplosie	Overdruk	34	1	1E-4*0.06	(1-0.2)*0.06	2,88E-07
10FT COMPRESSOR-MODULE (ZONDER DRUKONTLASTING)	Breuk TSK Werk	Gaswolkexplosie	Overdruk	21	1	1E-4*0.94*0.1	(1-0.2)*0.06	4,51E-07	
		Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	21	1	4.4E-3*0.1	(1-0.2)*0.06	2,11E-05
		Breuk TSK Faalt	Gaswolkexplosie	Overdruk	11	1	1E-4*0.06	(1-0.2)*0.06	2,88E-07
20FT COMPRESSOR-MODULE (MET DRUKONTLASTING)	Breuk TSK Werk	Gaswolkexplosie	Overdruk	7	1	1E-4*0.94*0.1	(1-0.2)*0.06	4,51E-07	
		Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	7	1	4.4E-3*0.1	(1-0.2)*0.06	2,11E-05
		Breuk TSK Faalt	Gaswolkexplosie	Overdruk	43	1	1E-4*0.06	(1-0.2)*0.06	2,88E-07
20FT COMPRESSOR-MODULE (ZONDER DRUKONTLASTING)	Breuk TSK Werk	Gaswolkexplosie	Overdruk	27	1	1E-4*0.94*0.1	(1-0.2)*0.06	4,51E-07	
		Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	27	1	4.4E-3*0.1	(1-0.2)*0.06	2,11E-05
		Breuk TSK Faalt	Gaswolkexplosie	Overdruk	13	1	1E-4*0.06	(1-0.2)*0.06	2,88E-07
30FT COMPRESSOR-MODULE (MET DRUKONTLASTING)	Breuk TSK Werk	Gaswolkexplosie	Overdruk	8	1	1E-4*0.94*0.1	(1-0.2)*0.06	4,51E-07	
		Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	8	1	4.4E-3*0.1	(1-0.2)*0.06	2,11E-05
		Breuk TSK Faalt	Gaswolkexplosie	Overdruk	49	1	1E-4*0.06	(1-0.2)*0.06	2,88E-07
30FT COMPRESSOR-MODULE (ZONDER DRUKONTLASTING)	Breuk TSK Werk	Gaswolkexplosie	Overdruk	31	1	1E-4*0.94*0.1	(1-0.2)*0.06	4,51E-07	
		Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	31	1	4.4E-3*0.1	(1-0.2)*0.06	2,11E-05
		Breuk TSK Faalt	Gaswolkexplosie	Overdruk	14	1	1E-4*0.06	(1-0.2)*0.06	2,88E-07
40FT COMPRESSOR-MODULE (MET DRUKONTLASTING)	Breuk TSK Werk	Gaswolkexplosie	Overdruk	9	1	1E-4*0.94*0.1	(1-0.2)*0.06	4,51E-07	
		Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	9	1	4.4E-3*0.1	(1-0.2)*0.06	2,11E-05
		Breuk TSK Faalt	Gaswolkexplosie	Overdruk	54	1	1E-4*0.06	(1-0.2)*0.06	2,88E-07
40FT COMPRESSOR-MODULE (ZONDER DRUKONTLASTING)	Breuk TSK Werk	Gaswolkexplosie	Overdruk	34	1	1E-4*0.94*0.1	(1-0.2)*0.06	4,51E-07	
		Lek	Gaswolkexplosie	Overdruk	34	1	4.4E-3*0.1	(1-0.2)*0.06	2,11E-05
		Breuk TSK Faalt	Gaswolkexplosie	Overdruk	5	1	2.2E-8*0.06*5/0.012	0.2	1,10E-07
VERBINDINGSLEIDINGEN	Breuk TSK Faalt (0.239 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	27	1	2.2E-8*0.06*5/0.012	0.0096	5,28E-09	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	18	1	2.2E-8*0.06*5/0.012	0.0384	2,11E-08	
		Wolkbrand	Verbranding	4	1	2.2E-8*0.94*5/0.012	0.2	1,72E-06	
		Breuk TSK Werk	Gaswolkexplosie	Overdruk	11	1	2.2E-8*0.94*5/0.012	0.0096	8,27E-08
		Wolkbrand	Verbranding	12	1	2.2E-8*0.94*5/0.012	0.0384	3,31E-07	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	5E-8*5/0.012	0.2	4,17E-06	
	Groot lek (28.4 g/s)	Gaswolkexplosie	Overdruk	4	1	5E-8*5/0.012	0.0096	2,00E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	3	1	5E-8*5/0.012	0.0384	8,00E-07	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	1	1	1.2E-7*5/0.012	0.2	1,00E-05	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	1.2E-7*5/0.012	0.0096	4,80E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	2	1	1.2E-7*5/0.012	0.0384	1,92E-06	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	0	1	2.8E-7*5/0.012	0.2	2,33E-05	
	Klein lek (2.2 g/s)	Gaswolkexplosie	Overdruk	0	1	2.8E-7*5/0.012	0.0096	1,12E-06	
		Wolkbrand	Verbranding	0	1	2.8E-7*5/0.012	0.0384	4,48E-06	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	2.2E-8*0.06*5/0.016	0.2	8,25E-08	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	39	1	2.2E-8*0.06*5/0.016	0.0096	3,96E-09	
		Wolkbrand	Verbranding	26	1	2.2E-8*0.06*5/0.016	0.0384	1,58E-08	
		Breuk TSK Werk	Fakkelfbrand	Warmtestraling	5	1	2.2E-8*0.94*5/0.016	0.2	1,29E-06
VERBINDINGSLEIDING 12 MM SECTIE VAN 5 M (MAX. DRUK: 30 BAR)	Breuk TSK Faalt (0.486 kg/s)	Gaswolkexplosie	Overdruk	27	1	2.2E-8*0.94*5/0.016	0.0096	6,20E-08	
		Wolkbrand	Verbranding	18	1	2.2E-8*0.94*5/0.016	0.0384	2,48E-07	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	3	1	5E-8*5/0.016	0.2	3,13E-06	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	5	1	5E-8*5/0.016	0.0096	1,50E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	5	1	5E-8*5/0.016	0.0384	6,00E-07	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	1.2E-7*5/0.016	0.2	7,50E-06	
	Groot lek (51.0 g/s)	Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	1.2E-7*5/0.016	0.0096	3,60E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	2	1	1.2E-7*5/0.016	0.0384	1,44E-06	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	1	1	2.8E-7*5/0.016	0.2	1,75E-05	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	0	1	2.8E-7*5/0.016	0.0096	8,40E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	0	1	2.8E-7*5/0.016	0.0384	3,36E-06	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	9	1	2.2E-8*0.06*5/0.020	0.2	6,60E-08	
VERBINDINGSLEIDING 16 MM SECTIE VAN 5 M (MAX. DRUK: 30 BAR)	Breuk TSK Faalt (0.826 kg/s)	Gaswolkexplosie	Overdruk	52	1	2.2E-8*0.06*5/0.020	0.0096	3,17E-09	
		Wolkbrand	Verbranding	33	1	2.2E-8*0.06*5/0.020	0.0384	1,27E-08	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	6	1	2.2E-8*0.94*5/0.020	0.2	1,03E-06	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	35	1	2.2E-8*0.94*5/0.020	0.0096	4,96E-08	
		Wolkbrand	Verbranding	24	1	2.2E-8*0.94*5/0.020	0.0384	1,99E-07	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	4	1	5E-8*5/0.020	0.2	2,50E-06	
	Groot lek (79.7 g/s)	Gaswolkexplosie	Overdruk	8	1	5E-8*5/0.020	0.0096	1,20E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	8	1	5E-8*5/0.020	0.0384	4,80E-07	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	1.2E-7*5/0.020	0.2	6,00E-06	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	1.2E-7*5/0.020	0.0096	2,88E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	3	1	1.2E-7*5/0.020	0.0384	1,15E-06	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	1	1	2.8E-7*5/0.020	0.2	1,40E-05	
	Middelgroot lek (13.8 g/s)	Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	2.8E-7*5/0.020	0.0096	6,72E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	2	1	2.8E-7*5/0.020	0.0384	2,69E-06	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	9	1	2.2E-8*0.06*5/0.020	0.2	6,60E-08	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	52	1	2.2E-8*0.06*5/0.020	0.0096	3,17E-09	
		Wolkbrand	Verbranding	33	1	2.2E-8*0.06*5/0.020	0.0384	1,27E-08	
		Breuk TSK Werk	Fakkelfbrand	Warmtestraling	6	1	2.2E-8*0.94*5/0.020	0.2	1,03E-06
VERBINDINGSLEIDING 20 MM SECTIE VAN 5 M (MAX. DRUK: 30 BAR)	Breuk TSK Faalt (0.413 kg/s (1.0 s) / 0.826 kg/s (1799 s))	Gaswolkexplosie	Overdruk	35	1	2.2E-8*0.94*5/0.020	0.0096	4,96E-08	
		Wolkbrand	Verbranding	24	1	2.2E-8*0.94*5/0.020	0.0384	1,99E-07	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	4	1	5E-8*5/0.020	0.2	2,50E-06	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	8	1	5E-8*5/0.020	0.0096	1,20E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	8	1	5E-8*5/0.020	0.0384	4,80E-07	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	1.2E-7*5/0.020	0.2	6,00E-06	
	Groot lek (79.7 g/s)	Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	1.2E-7*5/0.020	0.0096	2,88E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	3	1	1.2E-7*5/0.020	0.0384	1,15E-06	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	1	1	2.8E-7*5/0.020	0.2	1,40E-05	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	2.8E-7*5/0.020	0.0096	6,72E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	2	1	2.8E-7*5/0.020	0.0384	2,69E-06	
		Fakkelfbrand	Warmtestraling	9	1	2.2E-8*0.06*5/0.020	0.2	6,60E-08	

Onderdeel	Vrijzettingsscenario	Vervolgscenario	Effect	Max. effectafstand [m]	Rel. Kans	Faalkans	Vervolgkans	Totale kans
VERBINDINGSLEIDING 12 MM SECTIE VAN 5 M (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK Faalt (1.53 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	12	1	2.2E-8*0.06*5/0.012	0.2	1.10E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	72	1	2.2E-8*0.06*5/0.012	0.0096	5.28E-09
		Wolkbrand	Verbranding	51	1	2.2E-8*0.06*5/0.012	0.0384	2.11E-08
	Breuk TSK Werkt (0.77 kg/s (1.0 s) / 1.53 kg/s (1799 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	2.2E-8*0.94*5/0.012	0.2	1.72E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	49	1	2.2E-8*0.94*5/0.012	0.0096	8.27E-08
		Wolkbrand	Verbranding	32	1	2.2E-8*0.94*5/0.012	0.0384	3.31E-07
	Groot lek (0.183 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	5	1	5E-8*5/0.012	0.2	4.17E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	14	1	5E-8*5/0.012	0.0096	2.00E-07
		Wolkbrand	Verbranding	15	1	5E-8*5/0.012	0.0384	8.00E-07
	Middelgroot lek (31.8 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	3	1	1.2E-7*5/0.012	0.2	1.00E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	1	1.2E-7*5/0.012	0.0096	4.80E-07
		Wolkbrand	Verbranding	4	1	1.2E-7*5/0.012	0.0384	1.92E-06
Klein lek (14.1 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	2.8E-7*5/0.012	0.2	2.33E-05	
	Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	2.8E-7*5/0.012	0.0096	1.12E-06	
	Wolkbrand	Verbranding	3	1	2.8E-7*5/0.012	0.0384	4.48E-06	
VERBINDINGSLEIDING 16 MM SECTIE VAN 5 M (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK Faalt (3.11 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	16	1	2.2E-8*0.06*5/0.016	0.2	8.25E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	99	1	2.2E-8*0.06*5/0.016	0.0096	3.96E-09
		Wolkbrand	Verbranding	69	1	2.2E-8*0.06*5/0.016	0.0384	1.58E-08
	Breuk TSK Werkt (1.56 kg/s (1.0 s) / 3.11 kg/s (1799 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	13	1	2.2E-8*0.94*5/0.016	0.2	1.29E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	72	1	2.2E-8*0.94*5/0.016	0.0096	6.20E-08
		Wolkbrand	Verbranding	52	1	2.2E-8*0.94*5/0.016	0.0384	2.48E-07
	Groot lek (0.326 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	7	1	5E-8*5/0.016	0.2	3.13E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	32	1	5E-8*5/0.016	0.0096	1.50E-07
		Wolkbrand	Verbranding	21	1	5E-8*5/0.016	0.0384	6.00E-07
	Middelgroot lek (56.5 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	3	1	1.2E-7*5/0.016	0.2	7.50E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	6	1	1.2E-7*5/0.016	0.0096	3.60E-07
		Wolkbrand	Verbranding	6	1	1.2E-7*5/0.016	0.0384	1.44E-06
Klein lek (25.1 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	2.8E-7*5/0.016	0.2	1.75E-05	
	Gaswolkexplosie	Overdruk	4	1	2.8E-7*5/0.016	0.0096	8.40E-07	
	Wolkbrand	Verbranding	3	1	2.8E-7*5/0.016	0.0384	3.36E-06	
VERBINDINGSLEIDING 20 MM SECTIE VAN 5 M (MAX. DRUK: 200 BAR)	Breuk TSK Faalt (5.31 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	18	1	2.2E-8*0.06*5/0.020	0.2	6.60E-08
		Gaswolkexplosie	Overdruk	119	1	2.2E-8*0.06*5/0.020	0.0096	3.17E-09
		Wolkbrand	Verbranding	88	1	2.2E-8*0.06*5/0.020	0.0384	1.27E-08
	Breuk TSK Werkt (2.66 kg/s (1.0 s) / 5.31 kg/s (1799 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	14	1	2.2E-8*0.94*5/0.020	0.2	1.03E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	93	1	2.2E-8*0.94*5/0.020	0.0096	4.96E-08
		Wolkbrand	Verbranding	66	1	2.2E-8*0.94*5/0.020	0.0384	1.99E-07
	Groot lek (0.509 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	5E-8*5/0.020	0.2	2.50E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	39	1	5E-8*5/0.020	0.0096	1.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	27	1	5E-8*5/0.020	0.0384	4.80E-07
	Middelgroot lek (88.3 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	4	1	1.2E-7*5/0.020	0.2	6.00E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	8	1	1.2E-7*5/0.020	0.0096	2.88E-07
		Wolkbrand	Verbranding	9	1	1.2E-7*5/0.020	0.0384	1.15E-06
Klein lek (39.2 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	3	1	2.8E-7*5/0.020	0.2	1.40E-05	
	Gaswolkexplosie	Overdruk	4	1	2.8E-7*5/0.020	0.0096	6.72E-07	
	Wolkbrand	Verbranding	4	1	2.8E-7*5/0.020	0.0384	2.69E-06	
VERBINDINGSLEIDING 6 MM SECTIE VAN 5 M (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK Faalt (0.641 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	2.2E-8*0.06*5/0.006	0.2	2.20E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	1	2.2E-8*0.06*5/0.006	0.0096	1.06E-08
		Wolkbrand	Verbranding	30	1	2.2E-8*0.06*5/0.006	0.0384	4.22E-08
	Breuk TSK Werkt (0.321 kg/s (1.0 s) / 0.641 kg/s (1799 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	6	1	2.2E-8*0.94*5/0.006	0.2	3.45E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	31	1	2.2E-8*0.94*5/0.006	0.0096	1.65E-07
		Wolkbrand	Verbranding	21	1	2.2E-8*0.94*5/0.006	0.0384	6.62E-07
	Groot lek (0.110 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	4	1	5E-8*5/0.006	0.2	8.33E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	10	1	5E-8*5/0.006	0.0096	4.00E-07
		Wolkbrand	Verbranding	10	1	5E-8*5/0.006	0.0384	1.60E-06
	Middelgroot lek (19.1 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	1.2E-7*5/0.006	0.2	2.00E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	1.2E-7*5/0.006	0.0096	9.60E-07
		Wolkbrand	Verbranding	3	1	1.2E-7*5/0.006	0.0384	3.84E-06
Klein lek (8.5 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	1	1	2.8E-7*5/0.006	0.2	4.67E-05	
	Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	2.8E-7*5/0.006	0.0096	2.24E-06	
	Wolkbrand	Verbranding	2	1	2.8E-7*5/0.006	0.0384	8.96E-06	
VERBINDINGSLEIDING 8 MM SECTIE VAN 5 M (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK Faalt (1.35 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	11	1	2.2E-8*0.06*5/0.008	0.2	1.65E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	67	1	2.2E-8*0.06*5/0.008	0.0096	7.92E-09
		Wolkbrand	Verbranding	47	1	2.2E-8*0.06*5/0.008	0.0384	3.17E-08
	Breuk TSK Werkt (0.68 kg/s (1.0 s) / 1.35 kg/s (1799 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	8	1	2.2E-8*0.94*5/0.008	0.2	2.59E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	46	1	2.2E-8*0.94*5/0.008	0.0096	1.24E-07
		Wolkbrand	Verbranding	31	1	2.2E-8*0.94*5/0.008	0.0384	4.96E-07
	Groot lek (0.195 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	5	1	5E-8*5/0.008	0.2	6.25E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	14	1	5E-8*5/0.008	0.0096	3.00E-07
		Wolkbrand	Verbranding	15	1	5E-8*5/0.008	0.0384	1.20E-06
	Middelgroot lek (33.9 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	3	1	1.2E-7*5/0.008	0.2	1.50E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	1	1.2E-7*5/0.008	0.0096	7.20E-07
		Wolkbrand	Verbranding	4	1	1.2E-7*5/0.008	0.0384	2.88E-06
Klein lek (15.1 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	2.8E-7*5/0.008	0.2	3.50E-05	
	Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	2.8E-7*5/0.008	0.0096	1.68E-06	
	Wolkbrand	Verbranding	3	1	2.8E-7*5/0.008	0.0384	6.72E-06	
VERBINDINGSLEIDING 10 MM SECTIE VAN 5 M (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK Faalt (2.39 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	13	1	2.2E-8*0.06*5/0.010	0.2	1.32E-07
		Gaswolkexplosie	Overdruk	88	1	2.2E-8*0.06*5/0.010	0.0096	6.34E-09
		Wolkbrand	Verbranding	63	1	2.2E-8*0.06*5/0.010	0.0384	2.53E-08
	Breuk TSK Werkt (1.20 kg/s (1.0 s) / 2.39 kg/s (1799 s))	Fakkelfbrand	Warmtestraling	10	1	2.2E-8*0.94*5/0.010	0.2	2.07E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	61	1	2.2E-8*0.94*5/0.010	0.0096	9.93E-08
		Wolkbrand	Verbranding	40	1	2.2E-8*0.94*5/0.010	0.0384	3.97E-07
	Groot lek (0.305 kg/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	6	1	5E-8*5/0.010	0.2	5.00E-06
		Gaswolkexplosie	Overdruk	29	1	5E-8*5/0.010	0.0096	2.40E-07
		Wolkbrand	Verbranding	20	1	5E-8*5/0.010	0.0384	9.60E-07
	Middelgroot lek (53.0 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	3	1	1.2E-7*5/0.010	0.2	1.20E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	5	1	1.2E-7*5/0.010	0.0096	5.76E-07
		Wolkbrand	Verbranding	5	1	1.2E-7*5/0.010	0.0384	2.30E-06
Klein lek (23.5 g/s)	Fakkelfbrand	Warmtestraling	2	1	2.8E-7*5/0.010	0.2	2.80E-05	
	Gaswolkexplosie	Overdruk	4	1	2.8E-7*5/0.010	0.0096	1.34E-06	
	Wolkbrand	Verbranding	3	1	2.8E-7*5/0.010	0.0384	5.38E-06	

Onderdeel	Vrijzettingsscenario	Vervolgsscenario	Effect	Max. effectafstand [m]	Rel. Kans	Faalkans	Vervolgkans	Totale kans	
VERBINDINGSLEIDING 12 MM SECTIE VAN 5 M (MAX. DRUK: 500 BAR)	Breuk TSK Faalt (3.77 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	16	1	2.2E-8*0.06*5/0.012	0.2	1.10E-07	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	105	1	2.2E-8*0.06*5/0.012	0.0096	5.28E-09	
		Wolkbrand	Verbranding	73	1	2.2E-8*0.06*5/0.012	0.0384	2.11E-08	
	Breuk TSK Werk (1.88 kg/s (1.0 s) / 3.77 kg/s (1799 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	13	1	2.2E-8*0.94*5/0.012	0.2	1.72E-06	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	80	1	2.2E-8*0.94*5/0.012	0.0096	8.27E-08	
		Wolkbrand	Verbranding	57	1	2.2E-8*0.94*5/0.012	0.0384	3.31E-07	
	Groot lek (0.439 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	8	1	5E-8*5/0.012	0.2	4.17E-06	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	35	1	5E-8*5/0.012	0.0096	2.00E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	25	1	5E-8*5/0.012	0.0384	8.00E-07	
	Middelgroot lek (76.2 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	4	1	1.2E-7*5/0.012	0.2	1.00E-05	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	7	1	1.2E-7*5/0.012	0.0096	4.80E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	7	1	1.2E-7*5/0.012	0.0384	1.92E-06	
	Klein lek (33.9 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	3	1	2.8E-7*5/0.012	0.2	2.33E-05	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	1	2.8E-7*5/0.012	0.0096	1.12E-06	
		Wolkbrand	Verbranding	4	1	2.8E-7*5/0.012	0.0384	4.48E-06	
	VERBINDINGSLEIDING 6 MM SECTIE VAN 5 M (MAX. DRUK: 1000 BAR)	Breuk TSK Faalt (1.25 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	11	1	2.2E-8*0.06*5/0.006	0.2	2.20E-07
			Gaswolkexplosie	Overdruk	62	1	2.2E-8*0.06*5/0.006	0.0096	1.06E-08
			Wolkbrand	Verbranding	41	1	2.2E-8*0.06*5/0.006	0.0384	4.22E-08
Breuk TSK Werk (0.626 kg/s (1.0 s) / 1.25 kg/s (1799 s))		Fakkelbrand	Warmtestraling	9	1	2.2E-8*0.94*5/0.006	0.2	3.45E-06	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	45	1	2.2E-8*0.94*5/0.006	0.0096	1.65E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	30	1	2.2E-8*0.94*5/0.006	0.0384	6.62E-07	
Groot lek (0.206 kg/s)		Fakkelbrand	Warmtestraling	5	1	5E-8*5/0.006	0.2	8.33E-06	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	14	1	5E-8*5/0.006	0.0096	4.00E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	15	1	5E-8*5/0.006	0.0384	1.60E-06	
Middelgroot lek (35.7 g/s)		Fakkelbrand	Warmtestraling	3	1	1.2E-7*5/0.006	0.2	2.00E-05	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	1	1.2E-7*5/0.006	0.0096	9.60E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	3	1	1.2E-7*5/0.006	0.0384	3.84E-06	
Klein lek (15.9 g/s)		Fakkelbrand	Warmtestraling	2	1	2.8E-7*5/0.006	0.2	4.67E-05	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	1	2.8E-7*5/0.006	0.0096	2.24E-06	
		Wolkbrand	Verbranding	3	1	2.8E-7*5/0.006	0.0384	8.96E-06	
VERBINDINGSLEIDING 8 MM SECTIE VAN 5 M (MAX. DRUK: 1000 BAR)		Breuk TSK Faalt (2.63 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	15	1	2.2E-8*0.06*5/0.008	0.2	1.65E-07
			Gaswolkexplosie	Overdruk	93	1	2.2E-8*0.06*5/0.008	0.0096	7.92E-09
			Wolkbrand	Verbranding	67	1	2.2E-8*0.06*5/0.008	0.0384	3.17E-08
	Breuk TSK Werk (1.32 kg/s (1.0 s) / 2.63 kg/s (1799 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	11	1	2.2E-8*0.94*5/0.008	0.2	2.59E-06	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	62	1	2.2E-8*0.94*5/0.008	0.0096	1.24E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	42	1	2.2E-8*0.94*5/0.008	0.0384	4.96E-07	
	Groot lek (0.365 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	7	1	5E-8*5/0.008	0.2	6.25E-06	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	31	1	5E-8*5/0.008	0.0096	3.00E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	21	1	5E-8*5/0.008	0.0384	1.20E-06	
	Middelgroot lek (63.4 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	3	1	1.2E-7*5/0.008	0.2	1.50E-05	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	6	1	1.2E-7*5/0.008	0.0096	7.20E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	6	1	1.2E-7*5/0.008	0.0384	2.88E-06	
	Klein lek (28.2 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	1	2.8E-7*5/0.008	0.2	3.50E-05	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	1	2.8E-7*5/0.008	0.0096	1.68E-06	
		Wolkbrand	Verbranding	3	1	2.8E-7*5/0.008	0.0384	6.72E-06	
	VERBINDINGSLEIDING 10 MM SECTIE VAN 5 M (MAX. DRUK: 1000 BAR)	Breuk TSK Faalt (4.62 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	17	1	2.2E-8*0.06*5/0.010	0.2	1.32E-07
			Gaswolkexplosie	Overdruk	116	1	2.2E-8*0.06*5/0.010	0.0096	6.34E-09
			Wolkbrand	Verbranding	78	1	2.2E-8*0.06*5/0.010	0.0384	2.53E-08
Breuk TSK Werk (2.31 kg/s (1.0 s) / 4.62 kg/s (1799 s))		Fakkelbrand	Warmtestraling	13	1	2.2E-8*0.94*5/0.010	0.2	2.07E-06	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	87	1	2.2E-8*0.94*5/0.010	0.0096	9.93E-08	
		Wolkbrand	Verbranding	62	1	2.2E-8*0.94*5/0.010	0.0384	3.97E-07	
Groot lek (0.571 kg/s)		Fakkelbrand	Warmtestraling	9	1	5E-8*5/0.010	0.2	5.00E-06	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	39	1	5E-8*5/0.010	0.0096	2.40E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	28	1	5E-8*5/0.010	0.0384	9.60E-07	
Middelgroot lek (99.1 g/s)		Fakkelbrand	Warmtestraling	4	1	1.2E-7*5/0.010	0.2	1.20E-05	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	8	1	1.2E-7*5/0.010	0.0096	5.76E-07	
		Wolkbrand	Verbranding	9	1	1.2E-7*5/0.010	0.0384	2.30E-06	
Klein lek (44.1 g/s)		Fakkelbrand	Warmtestraling	3	1	2.8E-7*5/0.010	0.2	2.80E-05	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	1	2.8E-7*5/0.010	0.0096	1.34E-06	
		Wolkbrand	Verbranding	4	1	2.8E-7*5/0.010	0.0384	5.38E-06	
GASKOELER									
GASKOELER COAXIALE BUIS Ø = 6 MM, L = 10 M (MAX. DRUK: 700 BAR)		Breuk (1.2 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	7	10	4.82E-6	0.2	9.64E-06
			Gaswolkexplosie	Overdruk	36	10	4.82E-6	0.0096	4.63E-07
	Wolkbrand		Verbranding	25	10	4.82E-6	0.0384	1.85E-06	
STANDAARD VERDEELSLANGEN MET DOORSTROOMBEGRENZER PERMANENT IN GEBRUIK (350 BAR)									
STANDAARD SLANG 6 MM (MAX. DRUK: 350 BAR)	Breuk DB Faalt (0.226 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	5	8760	4E-6*0.06	0.2	4.20E-04	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	26	8760	4E-6*0.06	0.0096	2.02E-05	
		Wolkbrand	Verbranding	17	8760	4E-6*0.06	0.0384	8.07E-05	
	Breuk DB Werk (0.226 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4E-6*0.94	0.2	6.59E-03	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	10	8760	4E-6*0.94	0.0096	3.16E-04	
		Wolkbrand	Verbranding	10	8760	4E-6*0.94	0.0384	1.26E-03	
	Lek (6.1 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	1	8760	4E-5	0.2	7.01E-02	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	4E-5	0.0096	3.36E-03	
		Wolkbrand	Verbranding	2	8760	4E-5	0.0384	1.35E-02	
STANDAARD SLANG 8 MM (MAX. DRUK: 350 BAR)	Breuk DB Faalt (0.478 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	7	8760	4E-6*0.06	0.2	4.20E-04	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	38	8760	4E-6*0.06	0.0096	2.02E-05	
		Wolkbrand	Verbranding	26	8760	4E-6*0.06	0.0384	8.07E-05	
	Breuk DB Werk (0.478 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4E-6*0.94	0.2	6.59E-03	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	27	8760	4E-6*0.94	0.0096	3.16E-04	
		Wolkbrand	Verbranding	12	8760	4E-6*0.94	0.0384	1.26E-03	
	Lek (10.8 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4E-5	0.2	7.01E-02	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	4E-5	0.0096	3.36E-03	
		Wolkbrand	Verbranding	2	8760	4E-5	0.0384	1.35E-02	
STANDAARD SLANG 10 MM (MAX. DRUK: 350 BAR)	Breuk DB Faalt (0.842 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	8760	4E-6*0.06	0.2	4.20E-04	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	52	8760	4E-6*0.06	0.0096	2.02E-05	
		Wolkbrand	Verbranding	34	8760	4E-6*0.06	0.0384	8.07E-05	
	Breuk DB Werk (0.842 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4E-6*0.94	0.2	6.59E-03	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	34	8760	4E-6*0.94	0.0096	3.16E-04	
		Wolkbrand	Verbranding	15	8760	4E-6*0.94	0.0384	1.26E-03	
	Lek (16.8 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4E-5	0.2	7.01E-02	
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	4E-5	0.0096	3.36E-03	
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	4E-5	0.0384	1.35E-02	

Onderdeel	Vrijzettingsscenario	Vervolgscenario	Effect	Max. effectafstand [m]	Rel. Kans	Faalkans	Vervolgkans	Totale kans
STANDAARD SLANG 12 MM (MAX. DRUK: 350 BAR)	Breuk DB Faalt (1.33 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	11	8760	4E-6*0.06	0.2	4,20E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	66	8760	4E-6*0.06	0.0096	2,02E-05
		Wolkbrand	Verbranding	47	8760	4E-6*0.06	0.0384	8,07E-05
	Breuk DB Werkt (1.33 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4E-6*0.94	0.2	6,59E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	40	8760	4E-6*0.94	0.0096	3,16E-04
		Wolkbrand	Verbranding	16	8760	4E-6*0.94	0.0384	1,26E-03
	Lek (24.2 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.E-5	0.2	7,01E-02
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	8760	4.E-5	0.0096	3,36E-03
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	4.E-5	0.0384	1,35E-02
LPG-VERDEELSLANGEN MET DOORSTROOMBEGRENZER PERMANENT IN GEBRUIK (350 BAR)								
LPG-SLANG 6 MM (MAX. DRUK: 350 BAR)	Breuk DB Faalt (0.226 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	5	8760	5.4E-7*0.06	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	26	8760	5.4E-7*0.06	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	17	8760	5.4E-7*0.06	0.0384	1,09E-05
	Breuk DB Werkt (0.226 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-7*0.94	0.2	8,89E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	10	8760	5.4E-7*0.94	0.0096	4,27E-05
		Wolkbrand	Verbranding	10	8760	5.4E-7*0.94	0.0384	1,71E-04
	Lek (6.1 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	1	8760	5.4E-6	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	5.4E-6	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	2	8760	5.4E-6	0.0384	1,82E-03
LPG-SLANG 8 MM (MAX. DRUK: 350 BAR)	Breuk DB Faalt (0.478 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	7	8760	5.4E-7*0.06	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	38	8760	5.4E-7*0.06	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	26	8760	5.4E-7*0.06	0.0384	1,09E-05
	Breuk DB Werkt (0.478 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-7*0.94	0.2	8,89E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	27	8760	5.4E-7*0.94	0.0096	4,27E-05
		Wolkbrand	Verbranding	12	8760	5.4E-7*0.94	0.0384	1,71E-04
	Lek (10.8 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-6	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	5.4E-6	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	2	8760	5.4E-6	0.0384	1,82E-03
LPG-SLANG 10 MM (MAX. DRUK: 350 BAR)	Breuk DB Faalt (0.842 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	9	8760	5.4E-7*0.06	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	52	8760	5.4E-7*0.06	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	34	8760	5.4E-7*0.06	0.0384	1,09E-05
	Breuk DB Werkt (0.842 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-7*0.94	0.2	8,89E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	34	8760	5.4E-7*0.94	0.0096	4,27E-05
		Wolkbrand	Verbranding	15	8760	5.4E-7*0.94	0.0384	1,71E-04
	Lek (16.8 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-6	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	5.4E-6	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	5.4E-6	0.0384	1,82E-03
LPG-SLANG 12 MM (MAX. DRUK: 350 BAR)	Breuk DB Faalt (1.33 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	11	8760	5.4E-7*0.06	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	66	8760	5.4E-7*0.06	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	47	8760	5.4E-7*0.06	0.0384	1,09E-05
	Breuk DB Werkt (1.33 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-7*0.94	0.2	8,89E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	40	8760	5.4E-7*0.94	0.0096	4,27E-05
		Wolkbrand	Verbranding	16	8760	5.4E-7*0.94	0.0384	1,71E-04
	Lek (24.2 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-6	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	8760	5.4E-6	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	5.4E-6	0.0384	1,82E-03
STANDAARD VERDEELSLANGEN MET DOORSTROOMBEGRENZER PERMANENT IN GEBRUIK (700 BAR)								
STANDAARD SLANG 6 MM (MAX. DRUK: 700 BAR)	Breuk DB Faalt (0.445 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	7	8760	4E-6*0.06	0.2	4,20E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	36	8760	4E-6*0.06	0.0096	2,02E-05
		Wolkbrand	Verbranding	25	8760	4E-6*0.06	0.0384	8,07E-05
	Breuk DB Werkt (0.445 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4E-6*0.94	0.2	6,59E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	27	8760	4E-6*0.94	0.0096	3,16E-04
		Wolkbrand	Verbranding	12	8760	4E-6*0.94	0.0384	1,26E-03
	Lek (11.5 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.E-5	0.2	7,01E-02
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	4.E-5	0.0096	3,36E-03
		Wolkbrand	Verbranding	2	8760	4.E-5	0.0384	1,35E-02
STANDAARD SLANG 8 MM (MAX. DRUK: 700 BAR)	Breuk DB Faalt (0.938 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	10	8760	4E-6*0.06	0.2	4,20E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	54	8760	4E-6*0.06	0.0096	2,02E-05
		Wolkbrand	Verbranding	36	8760	4E-6*0.06	0.0384	8,07E-05
	Breuk DB Werkt (0.938 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4E-6*0.94	0.2	6,59E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	35	8760	4E-6*0.94	0.0096	3,16E-04
		Wolkbrand	Verbranding	15	8760	4E-6*0.94	0.0384	1,26E-03
	Lek (20.4 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.E-5	0.2	7,01E-02
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	4.E-5	0.0096	3,36E-03
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	4.E-5	0.0384	1,35E-02
STANDAARD SLANG 10 MM (MAX. DRUK: 700 BAR)	Breuk DB Faalt (1.65 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	11	8760	4E-6*0.06	0.2	4,20E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	72	8760	4E-6*0.06	0.0096	2,02E-05
		Wolkbrand	Verbranding	52	8760	4E-6*0.06	0.0384	8,07E-05
	Breuk DB Werkt (1.65 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4E-6*0.94	0.2	6,59E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	43	8760	4E-6*0.94	0.0096	3,16E-04
		Wolkbrand	Verbranding	17	8760	4E-6*0.94	0.0384	1,26E-03
	Lek (32.1 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4.E-5	0.2	7,01E-02
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	8760	4.E-5	0.0096	3,36E-03
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	4.E-5	0.0384	1,35E-02
STANDAARD SLANG 12 MM (MAX. DRUK: 700 BAR)	Breuk DB Faalt (2.60 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	15	8760	4E-6*0.06	0.2	4,20E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	93	8760	4E-6*0.06	0.0096	2,02E-05
		Wolkbrand	Verbranding	66	8760	4E-6*0.06	0.0384	8,07E-05
	Breuk DB Werkt (2.60 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	4E-6*0.94	0.2	6,59E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	50	8760	4E-6*0.94	0.0096	3,16E-04
		Wolkbrand	Verbranding	18	8760	4E-6*0.94	0.0384	1,26E-03
	Lek (46.2 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	3	8760	4.E-5	0.2	7,01E-02
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	8760	4.E-5	0.0096	3,36E-03
		Wolkbrand	Verbranding	4	8760	4.E-5	0.0384	1,35E-02
LPG-VERDEELSLANGEN MET DOORSTROOMBEGRENZER PERMANENT IN GEBRUIK (700 BAR)								
LPG-SLANG 6 MM (MAX. DRUK: 700 BAR)	Breuk DB Faalt (0.445 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	7	8760	5.4E-7*0.06	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	36	8760	5.4E-7*0.06	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	25	8760	5.4E-7*0.06	0.0384	1,09E-05
	Breuk DB Werkt (0.445 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-7*0.94	0.2	8,89E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	27	8760	5.4E-7*0.94	0.0096	4,27E-05
		Wolkbrand	Verbranding	12	8760	5.4E-7*0.94	0.0384	1,71E-04
	Lek (11.5 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-6	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	5.4E-6	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	2	8760	5.4E-6	0.0384	1,82E-03

Onderdeel	Vrijzettingsscenario	Vervolgscenario	Effect	Max. effectafstand [m]	Rel. Kans	Faalkans	Vervolgkans	Totale kans
LPG-SLANG 8 MM (MAX. DRUK: 700 BAR)	Breuk DB Faalt (0.938 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	10	8760	5.4E-7*0.06	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	54	8760	5.4E-7*0.06	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	36	8760	5.4E-7*0.06	0.0384	1,09E-05
	Breuk DB Werkt (0.938 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-7*0.94	0.2	8,89E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	35	8760	5.4E-7*0.94	0.0096	4,27E-05
		Wolkbrand	Verbranding	15	8760	5.4E-7*0.94	0.0384	1,71E-04
	Lek (20.4 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-6	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	2	8760	5.4E-6	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	5.4E-6	0.0384	1,82E-03
LPG-SLANG 10 MM (MAX. DRUK: 700 BAR)	Breuk DB Faalt (1.65 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	11	8760	5.4E-7*0.06	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	72	8760	5.4E-7*0.06	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	52	8760	5.4E-7*0.06	0.0384	1,09E-05
	Breuk DB Werkt (1.65 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-7*0.94	0.2	8,89E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	43	8760	5.4E-7*0.94	0.0096	4,27E-05
		Wolkbrand	Verbranding	17	8760	5.4E-7*0.94	0.0384	1,71E-04
	Lek (32.1 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-6	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	8760	5.4E-6	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	3	8760	5.4E-6	0.0384	1,82E-03
LPG-SLANG 12 MM (MAX. DRUK: 700 BAR)	Breuk DB Faalt (2.60 kg/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	15	8760	5.4E-7*0.06	0.2	5,68E-05
		Gaswolkexplosie	Overdruk	93	8760	5.4E-7*0.06	0.0096	2,72E-06
		Wolkbrand	Verbranding	66	8760	5.4E-7*0.06	0.0384	1,09E-05
	Breuk DB Werkt (2.60 kg/s (1.0 s))	Fakkelbrand	Warmtestraling	2	8760	5.4E-7*0.94	0.2	8,89E-04
		Gaswolkexplosie	Overdruk	50	8760	5.4E-7*0.94	0.0096	4,27E-05
		Wolkbrand	Verbranding	18	8760	5.4E-7*0.94	0.0384	1,71E-04
	Lek (46.2 g/s)	Fakkelbrand	Warmtestraling	3	8760	5.4E-6	0.2	9,46E-03
		Gaswolkexplosie	Overdruk	4	8760	5.4E-6	0.0096	4,54E-04
		Wolkbrand	Verbranding	4	8760	5.4E-6	0.0384	1,82E-03

VIII.4. Bijlage 4: Overzicht van bepalingen uit normen en wetgeving inzake veiligheidsafstanden

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van beschikbare normen en codes van goede praktijk aangaande het ontwerp, de bouw en de exploitatie van waterstoftankstations. Specifiek wordt in deze bijlage weergegeven hoe in de betreffende normen en codes wordt omgegaan met interne en externe scheidingsafstanden van waterstofinstallaties.

VIII.4.1. Beschikbare normen en codes van goede praktijk

Volgende normen, codes en wetgeving die betrekking hebben op waterstoftankstations werden in onderhavige onderzoeksopdracht bestudeerd:

1. Internationale standaard ISO/TS 19880-1:2016
"Gaseous hydrogen – Fuelling stations – Part 1: General requirements"
2. European Industrial Gases Association (EIGA) - Code of Practice 15/06
"Gaseous hydrogen stations"
3. NFPA code 55 (2016)
"Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code"
4. Nederlandse richtlijn PGS 35 (april 2015)
"Afleverinstallaties van waterstof voor wegvoertuigen"

VIII.4.2. Bespreking van normen en codes voor waterstoftankstations

VIII.4.2.1. Internationale standaard ISO/TS 19880-1:2016

Een veiligheidsafstand wordt in de ISO/TS 19880-1 gedefinieerd als een afstand tot een aanvaardbaar risiconiveau of als een minimale risico-geïnformeerde scheidingsafstand tussen een gevarenbron en een object (persoon, installatie of milieu) waardoor de effecten van een te voorzien ongeval worden beperkt en waardoor voorkomen wordt dat een klein incident kan escaleren tot een groter incident. In de ISO-norm wordt een onderscheid gemaakt tussen verschillende types van veiligheidsafstanden, waaronder:

❑ RESTRICTION DISTANCES

De uitsluitingsafstand (*restriction distance*) bakent een zone af rond de waterstofverdeelinstallaties waar bepaalde activiteiten worden beperkt of onderhevig zijn aan speciale voorzorgsmaatregelen (bv. geen open vlam, verboden te roken, gebruik van ATEX-apparatuur)

❑ CLEARANCE DISTANCES

De afschermingsafstand (*clearance distance*) is de minimale afstand tussen de waterstofverdeelinstallaties en gevoelige objecten op het tankstation (personen of installaties met gevaarlijke stoffen) die dient te worden aangehouden om de schade die wordt berokkend aan naburige personen of objecten door een te voorzien ongeval met de waterstofverdeelinstallatie te beperken.

❑ INSTALLATION LAYOUT DISTANCES

De ontwerpafstand (*installation layout distance*) is de minimale afstand die aangehouden dient te worden tussen de verschillende componenten van een waterstofverdeelinstallatie om een escalatie naar andere componenten te voorkomen bij een klein incident met een component.

❑ PROTECTION DISTANCES

De beschermingsafstand (*protection distance*) is de afstand die dient te worden aangehouden tot externe gevarenbronnen (binnen of buiten het tankstation) om schade aan de waterstofverdeelinstallaties te voorkomen in geval van een incident met een externe gevarenbron (bv. branden of aanrijdingen).

❑ EXTERNAL RISK ZONES

Risicoafstanden (*external risk zones*) zijn afstanden die aangehouden dienen te worden rondom de waterstofverdeelinstallaties om gevoelige omgevingsobjecten buiten te tankstation te beschermen tegen de gevaren die worden veroorzaakt door het waterstoftankstation. Voorbeelden van gevoelige omgevingsobjecten zijn locaties waar personen wonen of werken in de omgeving van het tankstation.

In tabel VIII.4.2.1 worden het doel en de definitie van de verschillende types van veiligheidsafstanden verduidelijkt. Tabel VIII.4.2.2 geeft een overzicht van de veiligheidsafstanden die in verschillende landen worden gehanteerd voor waterstoftankstations.

Tabel VIII.4.2.1: Overzicht van de verschillende types van veiligheidsafstanden

Veiligheidsafstand	Doel	Gevarenbron	Kwetsbaar object
uitsluitingsafstand	beperken van het risico in de aangrenzende zones van de waterstofverdeelinstallatie	componenten van de waterstofverdeelinstallatie (compressor, opslagbuffers, verdeelzuil)	elke open ruimte aangrenzend aan de waterstofverdeelinstallatie
afschermingsafstand	beschermen van objecten en personen op het tankstation tegen de gevaren die uitgaan van de waterstofverdeelinstallatie	componenten van de waterstofverdeelinstallatie (compressor, opslagbuffers, verdeelzuil)	personen en objecten binnen het tankstation (gebruikers van de faciliteiten, opslag ontvlambare stoffen)
ontwerpafstand	voorkomen van een escalatie van incidenten met componenten van de waterstofverdeelinstallatie	componenten van de waterstofverdeelinstallatie (compressor, opslagbuffers, verdeelzuil)	componenten van de waterstofverdeelinstallatie (compressor, opslagbuffers, verdeelzuil)
beschermingsafstand	beschermen van de waterstofverdeelinstallatie tegen de gevaren die worden veroorzaakt door externe gevarenbronnen	andere gevarenbronnen binnen of buiten het tankstation (opslag ontvlambare stoffen, pijpleidingen, impact door voertuigen)	componenten van de waterstofverdeelinstallatie
risicoafstand	beheersen van de risico's die uitgaan van de waterstofverdeelinstallatie op personen of objecten buiten het tankstation	componenten van de waterstofverdeelinstallatie (compressor, opslagbuffers, verdeelzuil)	gevoelige omgevingsobjecten (personen, gebouwen) buiten het tankstation

Tabel VIII.4.2.2: Overzicht van aanbevolen veiligheidsafstanden voor waterstoftankstations

Uitsluitingsafstanden [m]	CA	CN	FR	DE	IT	JP	KR	SE	UK	US
Potentiële zone met een ontvlambare of explosieve atmosfeer rond de <u>compressor</u>				IEC 60079-10		8	8		5	0-4,6 class1 div2
Potentiële zone met een ontvlambare of explosieve atmosfeer rond de <u>opslagbuffers</u>						8	8		5	0-4,6 class1 div2
Potentiële zone met een ontvlambare of explosieve atmosfeer rond de <u>verdeelzuilen</u>		4,5				0,6			-	0-1,5 class1 div2
Uitsluiting van open vlammen, vonkend gereedschap en laswerken	7,6	20-40				8	8		5	10,7
Uitlaat naar atmosfeer van drukontlastingskleppen en vents		3-10							-	1,5 div1 4,6 div2

Af schermingsafstanden [m]	CA	CN	FR	DE	IT	JP	KR	SE	UK	US
Personeel van het tankstation									-	
Gebruikers van het tankstation					10				-	
Derden (publiek)									8	4,6
Andere brandstofverdelinstallaties (incl. losinstallaties)								12		
Opslag van benzine	3,1-7,6	3-8		3	10			25	8	4,6
Opslag van LPG	7,6-15,2			8	20			25	8	4,6
CNG-componenten	7,6-15,2	5-12			15	6		12	5	4,6
Opslag van vloeibare zuurstof	7,5-15			5		10	10	12	5	
Tussen verdeelzuilen voor waterstof en andere brandstoffen		4			8				-	4,6
Gebouwen op het tankstation		5-15	8					12	-	
Gebouwen opgetrokken uit brandbare materialen	15,2							12	8	4,6
Gebouwen opgetrokken uit niet-brandbare materialen	1-5-7,6								-	1,6
Openingen in gebouwen	3,1-7,6							12	8	10,7
Luchtinlaat of ventilatieopeningen	15,2								8	10,7
Andere	4,6								-	
Ontwerpafstanden [m]	CA	CN	FR	DE	IT	JP	KR	SE	UK	US
Tussen componenten		3-15		0,5-1				1	-	
Tussen opslagbuffers en andere componenten		3-15					min. 1		-	
Tussen compressor en andere componenten		3-9							-	
Tussen componenten en afsluiting rond componenten		2-5							0,6	
Tussen waterstofverdeelzuilen en andere installaties (excl. waterstof)				2					-	
Beschermingsafstanden [m]	CA	CN	FR	DE	IT	JP	KR	SE	UK	US
Bovengrondse aanwezigheid van vloeibare brandstoffen (incl. tankwagens)	7,6-15,2	18-35		5			8	50	8	
Publieke of private wegen (aanrijdingsrisico's)		2-5				3	5	10	8	
Andere		12-35		5				25	-	
Risicoafstanden [m]	CA	CN	FR	DE	IT	JP	KR	SE	UK	US
Perceelgrens	1,5		8			8	10		8	10,7
Openbare weg	4,6	5-15	8			8	5	10	8	3
Woningen en specifieke publieke gebouwen							12-20		-	
Parkings	4,6							6	8	4,6
School, ziekenhuis, publieke verzamelplaats, e.d.	15,2	50					17-30	100	-	

De veiligheidsafstanden die in onderhavige studie worden bepaald zijn risicoafstanden (zgn. externe scheidingsafstanden) en afschermingsafstanden (zgn. interne scheidingsafstanden).

VIII.4.2.2. EIGA - Code of Practice 15/06

Volgens deze code van goede praktijk moeten er rond waterstofinstallaties gevarenczones worden afgebakend. De aanbevolen minimale omvang van deze gevarenczones wordt weergegeven in tabel VIII.4.2.1. De afstanden dienen in horizontale richting te worden uitgezet van punten waarbij, tijdens het gebruik van de installaties, een vrijzetting van waterstofgas mogelijk wordt geacht. Wanneer installaties in een gebouw of container zijn geplaatst, dan moeten de afstanden worden uitgezet vanaf de openingen in het gebouw of container. Voor pijpleidingen die kleppen, flenzen, verwijderbare verbindingen etc. bevatten, worden enkel de punten waar dergelijke verbindingen voorkomen beschouwd als een potentiële lekbron.

De afstanden die in tabel VIII.4.2.3 worden vermeld, kunnen worden verminderd door het aanbrengen van geschikte brandwerende scheidingswanden. Het type en de afmetingen van de scheidingswanden en de mogelijke reductie van de scheidingsafstand worden bepaald door de omstandigheden van de vrijzetting en de aard van de blootstelling.

Andere activiteiten dan deze die direct verband houden met de verdeling van waterstof aan voertuigen moeten op afstand worden gehouden van de waterstofinstallaties. De afstanden in tabel VIII.4.2.3 zijn de aanbevolen minimumafstanden. Indien grotere afstanden worden voorgeschreven door nationale codes of voorschriften, dan zijn deze grotere afstanden van toepassing.

Tabel VIII.4.2.3: Aanbevolen minimale veiligheidsafstanden voor waterstoftankstation (gemeten in horizontale richting)

Typical type of outdoor exposure	Distance of hydrogen from
1. Open flames and other ignition sources (incl. electrical)	5
2. Site boundary and areas where people are likely to congregate such as car parks, canteens, etc.	8
3. Wooden building or structure	8
4. Wall opening in offices, workshops, etc.	5
5. Bulk flammable liquids and LPG storage above ground in accordance with NATIONAL CODES, where they exist, for the particular substance. Otherwise	8
6. Bulk flammable liquid and LPG below ground	
6.1 Tank (horizontal distance from shell)	3
6.2 Vent or connections	5
7. Flammable gas cylinder storage, other than hydrogen	5
8. Gaseous oxygen storage (cylinders)	5
9. Liquid oxygen storage (not greater than 125 000L tank capacity) (* *)	8 (*)
10. Non flammable cryogenic liquid storage, other than oxygen, e.g. argon, nitrogen (*)	5 (*)
11. Stocks of combustible material, e.g. timber	8
12. Air compressor, ventilator intakes, etc.	

(*) Where satisfactory arrangements are made to divert liquid spillage away from the hydrogen system, these distances may be reduced.

(**) For tank capacities greater than 125 000 litres see IGC Document 3/75

VIII.4.2.3. NFPA code 55 (editie 2016)

Op basis van een risico-geïnformeerde methode werd besloten om in de NFPA 55 (editie 2016) de interne scheidingsafstanden te baseren op een lekopening die gelijk is aan 3% van de grootste doorstroomoppervlakte, die stroomafwaarts gelegen is van een gasvormige opslagbuffer met een volume groter dan 11,3 m³. De overeenkomstige lekdiameter bedraagt in dat geval 17,3% van de karakteristieke leidingdiameter die wordt toegepast in een bepaalde sectie van de installatie. Tabel VIII.4.2.4 geeft de karakteristieke leidingdiameters in functie van de druk in een bepaalde sectie van de waterstofverdeelinstallatie, zoals opgenomen in de NFPA 55.

Tabel VIII.4.2.4: Karakteristieke leidingdiameters in functie van de druk in een sectie van een waterstofverdeelinstallatie

Storage Pressure Range	Characteristic Pipe Diameter (I.D.)
>103 to ≤ 1724 kPa (gauge) (>15 to ≤250 psig)	52.50 mm (2.067 in)
>1724 to ≤ 20684 kPa (gauge) (>250 to ≤3000 psig)	18.97 mm (0.75 in)
>20684 ≤ 51711 kPa (gauge) (>3000 to ≤7500 psig)	7.92 mm (0.312 in)
>51711 ≤ 103421 kPa (gauge) (>7500 to ≤15000 psig)	7.16 mm (0.282 in)

De schadecriteria die in NFPA 55 worden gehanteerd ter bepaling van de interne scheidingsafstanden op een waterstoftankstation worden getoond in onderstaande tabel.

Tabel VIII.4.2.5: Gehanteerde schadecriteria in NFPA 55

Blootgesteld object / locatie	Schadecriteria
perceelgrens	- Waterstofconcentratie van 4% (= LEL) - Invallende stralingswarmteflux van 1,6 kW/m ²
personen op het tankstation	- Invallende stralingswarmteflux van 4,7 kW/m ²
locaties waar ontvlambare stoffen aanwezig zijn	- Invallende stralingswarmteflux van 20 kW/m ² - Zichtbare vlamlengte

Tabel VIII.4.2.6 toont de berekende interne scheidingsafstanden zoals opgenomen in de NFPA 55 (editie 2016) uitgaande van de karakteristieke leidingdiameters zoals opgenomen in tabel VIII.4.2.4 en de schadecriteria zoals opgenomen in tabel VIII.2.4.5.

Tabel VIII.4.2.6: Minimum scheidingsafstanden voor waterstofinstallaties in openlucht uitgaande van typische maximale leidingdiameters

Pressure	> 15 to ≤250 psig		> 250 to ≤3000 psig		> 3000 to ≤7500 psig		> 7500 to ≤15,000 psig	
	Internal Pipe Diameter (ID)		Internal Pipe Diameter (ID)		Internal Pipe Diameter (ID)		Internal Pipe Diameter (ID)	
d_{min}	$d = 52.5_{mm}$		$d = 18.97_{mm}$		$d = 7.31_{mm}$		$d = 7.16_{mm}$	
Group 1 Exposures	m	ft	m	ft	m	ft	m	ft
(a) Lot lines	12	40	14	46	9	29	10	34
(b) Air intakes (HVAC, compressors, other)								
(c) Operable openings in buildings and structures								
(d) Ignition sources such as open flames and welding								
Group 2 Exposures	m	ft	m	ft	m	ft	m	ft
(a) Exposed persons other than those servicing the system	6	20	7	24	4	13	5	16
(b) Parked cars								
Group 3 Exposures	m	ft	m	ft	m	ft	m	ft
(a) Buildings of noncombustible non-fire-rated construction	5	17	6	19	4	12	4	14
(b) Buildings of combustible construction								
(c) Flammable gas storage systems above or below ground								
(d) Hazardous materials storage systems above or below ground								
(e) Heavy timber, coal, or other slow-burning combustible solids								
(f) Ordinary combustibles, including fast-burning solids such as ordinary lumber, excelsior, paper, or combustible waste and vegetation other than that found in maintained landscaped areas								
(g) Unopenable openings in building and structures								
(h) Encroachment by overhead utilities (horizontal distance from the vertical plane below the nearest overhead electrical wire of building service)								
(i) Piping containing other hazardous materials								
(j) Flammable gas metering and regulating stations such as natural gas or propane								

VIII.4.2.4. Nederlandse richtlijn PGS 35

De interne veiligheidsafstanden die in PGS 35 worden aangehaald als een aanvullende veiligheidsmaatregel worden besproken in een apart achtergronddocument. In dit achtergronddocument (*Internal Safety Distances for PGS 35*) staan de resultaten van een onderzoek naar de interne veiligheidsafstanden voor waterstoftankstations. Deze worden hieronder toegelicht.

De ongevalsscenario's waarvoor de interne veiligheidsafstanden worden bepaald, zijn geselecteerd op basis van de kennis en de ervaring van de leden van de PGS 35 werkgroep. Volgende uitgangspunten worden hierbij gevolgd:

- ❑ Een onderste grenswaarde van $10^{-5}/j$ wordt gehanteerd voor de frequentie van optreden van niet te voorziene ongevallen, conform het EIGA document;
- ❑ Interne veiligheidsafstanden worden bepaald door lekscenario's en niet door catastrofale gebeurtenissen (bv. breuk van een drukvat);
- ❑ Een ontsteking van het vrijgezette gas zonder relevante drukopbouw wordt waarschijnlijker geacht dan het optreden van een gasexplosie. De interne scheidingsafstanden worden bijgevolg bepaald voor het scenario van een fakkelbrand;
- ❑ Tijdens het lossen van waterstof op het tankstation is een breuk van de losslang een zeer waarschijnlijk scenario. Het vrijzettingsdebiet wordt in dat geval bepaald door de keeldoorsnede van de smookklep, waarmee het transferdebiet kan worden ingesteld. In de uitgevoerde berekeningen werd uitgegaan van een keeldoorsnede met een diameter van 1 en 3 mm.

Rekening houdend met bovenstaande uitgangspunten worden volgende ongevals-scenario's geselecteerd voor de bepaling van de interne veiligheidsafstanden:

- ❑ SCENARIO 1A (LOKALE PRODUCTIE VIA STOOMREFORMING)
lekscenario, 10% van de leidingdiameter (DN50) bij 10 bar, i.e. 5 mm lek bij 10 bar
- ❑ SCENARIO 1B (LOKALE PRODUCTIE VIA ELEKTROLYSE)
lekscenario, 10% van de leidingdiameter (DN25) bij 10 bar, i.e. 2,5 mm lek bij 10 bar
- ❑ SCENARIO 2 (LOKALE PRODUCTIE VIA ELEKTROLYSE)
lekscenario, 10% van de leidingdiameter (DN25) bij 85 bar, i.e. 2,5 mm lek bij 85 bar
- ❑ SCENARIO 3A (LOSSEN TUBE-TRAILER OP 200 BAR)
lekscenario, slangbreuk bij lossing, i.e. 1 mm lek bij 200 bar
- ❑ SCENARIO 3B (LOSSEN TUBE-TRAILER OP 200 BAR)
lekscenario, slangbreuk bij lossing, i.e. 3 mm lek bij 200 bar
- ❑ SCENARIO 4A (LOSSEN TUBE-TRAILER OP 500 BAR)
lekscenario, slangbreuk bij lossing, i.e. 1 mm lek bij 500 bar
- ❑ SCENARIO 4B (LOSSEN TUBE-TRAILER OP 500 BAR)
lekscenario, slangbreuk bij lossing, i.e. 3 mm lek bij 500 bar
- ❑ SCENARIO 5 (MIDDENDRUKCOMPRESSOR)
lekscenario, 10% van de persleiding, i.e. 1 mm lek bij 450 bar
- ❑ SCENARIO 6 (HOGEDRUKCOMPRESSOR)
lekscenario, 10% van de persleiding, i.e. 1 mm lek bij 1000 bar
- ❑ SCENARIO 7 (VOEDING VIA TRANSPORTLEIDING)
lekscenario, 10% van de leiding (0,75") bij 100 bar

De schadecriteria die worden gehanteerd bij de afbakening van de interne veiligheidsafstanden zijn:

- ❑ een warmtestralingsflux van 3 kW/m^2 voor personen buiten het tankstation
- ❑ een warmtestralingsflux van 10 kW/m^2 voor personen op het tankstation

- ❑ een warmtestralingsflux van 10 kW/m² voor gebouwen, onbeschermde installaties, leidingen en kabels
- ❑ een warmtestralingsflux van 35 kW/m² voor beschermde installaties, leidingen en kabels (incl. dragende constructies)

De effectafstanden van bovenstaande scenario's werden berekend me SAFETI-NL en worden weergegeven in onderstaande tabel. Het gebruik van de interne veiligheidsafstanden wordt verder toegelicht in figuur VIII.4.2.1.

Tabel VIII.4.2.7: Berekende interne veiligheidsafstanden volgens PGS 35

scenario	vrijzettingsdebiet	Interne veiligheidsafstanden		
		3 kW/m ²	10 kW/m ²	35 kW/m ²
scenario 1A en 1B	12 g/s	2,2 m	2,1 m	0 m
scenario 2	23 g/s	3,1 m	2,9 m	nvt
scenario 3A	8 g/s	2,9 m	1,8 m	nvt
scenario 3B	75 g/s	5,5 m	5,0 m	4,7 m
scenario 4A	20 g/s	2,9 m	2,7 m	nvt
scenario 4B	178 g/s	8,5 m	7,8 m	7,0 m
scenario 5	18 g/s	2,7 m	2,6 m	nvt
scenario 6	36 g/s	3,9 m	3,6 m	3,3 m
scenario 7	16 g/s	2,5 m	2,4 m <td nvt	

Figuur VIII.4.2.1: Schematische weergave van de interne veiligheidsafstanden op een waterstofstation conform PGS 35

